
Coûts de gestion individuelle et collective des effluents d'élevage à l'Ile de la Réunion

Stefano FAROLFI

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad-Tera-Rev)
Center for Environmental Economics and Policy in Africa (Ceepa) Université de Pretoria

Mai 2003 – Rapport Cirad-Tera n. 11/03

Sommaire

AVANT-PROPOS	5
INTRODUCTION.....	7
LES COUTS DE LA GESTION INDIVIDUELLE	9
Matériel et méthodes.....	9
Les résultats.....	10
Limites de l'analyse et simplifications.....	16
LES COUTS DE GESTION COLLECTIVE	19
Matériel et méthodes.....	19
Définition des hypothèses retenues	20
Résultats	21
LES FONCTIONS DE COUT ANNUEL POUR LES DIFFERENTES TYPOLOGIES D'AGRICULTEURS ET SELON LA STRATEGIE DE GESTION CHOISIE	31
ELABORATIONS DE SCENARIOS DE GESTION DES EFFLUENTS	35
UTILISATIONS ULTERIEURES DES DONNEES : MODELISATION MULTI-AGENTS (ECHOS).....	43
CONCLUSION	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49

Avant propos

Cette synthèse s'appuie sur les résultats de travaux de stage réalisés en 2001 par Mathieu Caisso (DESS « Economie de l'environnement » Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II) et Maeva Tiratay (Urcoopa, la Réunion), travaux supervisés par Mme Sylvie Ferrari, Maître de Conférences en Economie de l'environnement à l'Université de la Réunion et moi-même.

Un troisième stage de DESS a été réalisé, simultanément, par Nathalie Copette également sous la supervision de Mme Sylvie Ferrari et de moi-même (DESS en Science et gestion de l'environnement tropical, Université de la Réunion).

Les trois opérations de recherche ont été conçues et rendues possibles dans le cadre de l'ATP CIRAD « Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité. Gestion des effluents d'élevage à la Réunion » (ATP 99/60). Elles avaient pour objectif de fournir des informations précises sur le contexte réglementaire et les aspects économiques déterminant le comportement des éleveurs réunionnais vis-à-vis de la gestion des effluents d'élevage.

Les enquêtes réalisées par M. Caisso et M. Tiratay ont été conduites dans la zone de Grand Ilet, Cirque de Salazie.

Les résultats de ces travaux, qui seront synthétisés par la suite, constituent en soi un outil d'aide à la décision, et sont déjà largement utilisés au sein des opérations de modélisation en cours dans le cadre du groupe de recherche *Gestion des déchets organiques* (GDOR).

Ce rapport est un document de travail. Les lecteurs sont invités à transmettre leurs remarques et commentaires à l'adresse électronique : sfarolfi@postino.up.ac.za (Stefano Farolfi).

Introduction

Le développement de l'élevage intensif à la Réunion connaît aujourd'hui un obstacle majeur en grande partie à cause des effluents, mélange de déjections animales (fumier, purin et lisier) et des eaux sales (lavage, traite, traitement, etc.). En effet, les effluents d'élevage sont essentiellement utilisés en épandage bien qu'ils présentent d'importants risques de pollution pour l'environnement naturel. Si les déjections animales contiennent des éléments fertilisants tels que l'azote, le phosphore et la potasse, ces éléments peuvent être des polluants s'ils ne sont pas correctement évacués et se concentrent dans le sol. Par ailleurs, l'accélération de l'urbanisation réduit chaque jour les surfaces épandables. Dans les zones d'élevage comme Grand Ilet, les surfaces épandables sont extrêmement limitées puisque cultivées en maraîchage. Elles ne permettent pas de gérer la totalité des déjections produites selon la réglementation et encore moins de développer l'élevage sur la zone. Or, pour pérenniser ces petits élevages essentiellement porcins et avicoles et satisfaire les besoins alimentaires de cette population croissante, il faut les rendre compatibles avec la sauvegarde de l'environnement, dans une optique de développement durable.

Deux études ont été menées conjointement afin de déterminer les coûts actuels et futurs du traitement des effluents d'élevage soit de façon individuelle, soit de façon collective sur la zone particulière de Grand Ilet. En effet, cette zone, située dans un ancien site d'effondrement d'un volcan, est très enclavée : elle n'est reliée au reste de l'île que par une seule route et sa topographie très accidentée en fait une zone difficile d'accès.

La première étude (Caisso, 2001) s'intéresse aux coûts des méthodes actuelles de traitement des effluents d'élevage de façon individuelle. La deuxième étude (Tiratay, 2001) évalue les coûts des méthodes collectives de traitement des effluents actuelles et futures en étudiant différents procédés de traitement collectif. La synthèse vise à comparer les différents modes de traitement afin d'aider les acteurs concernés à opérer un choix pour leur système de traitement des effluents d'élevage.

Cette synthèse s'articule en cinq parties. Les deux premiers chapitres traitent des coûts de gestion des effluents d'élevage à la ferme et par des systèmes collectifs. Ensuite, le chapitre 3 donne des fonctions de coûts correspondant aux différentes stratégies de gestion des effluents par les éleveurs et les producteurs de canne de la zone côtière. Ces fonctions de coûts, incluant les impacts économiques des outils réglementaires éventuellement adoptés (redevances pollution, subventions, normes d'épandage, etc.), permettent de construire des scénarios de comportement des acteurs en fonction des mesures de politique environnementale décidées par les autorités (chapitre 4).

Ces scénarios, qui peuvent être facilement établis à l'aide d'une feuille de calcul Excel® constituent un outil d'aide à la décision. L'utilisation finale prévue pour ces fonctions de coûts dans les modèles de simulation est toutefois en cours de réalisation par l'équipe GDOR. Un exemple concernant le modèle Echos (Farolfi *et al.*, 2002) est décrit dans le chapitre 5.

La réalisation des études préliminaires (2000) et les premières versions des modèles décrits par la suite, ont précédé le passage à l'euro. Les coûts étaient encore exprimés en francs français. Afin d'éviter l'important travail supplémentaire de conversion en euros (surtout pour les modèles), nous avons décidé de garder les valeurs exprimées en francs. Le taux fixe de conversion F/euro est de 6,55957.

1 Les coûts de la gestion individuelle

Analyser les coûts de gestion des effluents d'élevage nécessite de connaître, dans un premier temps, les pratiques des éleveurs réunionnais en matière de gestion des effluents.

Seule une bonne connaissance des différentes étapes (production, stockage, transformation, utilisation) liées aux travaux de traitements des déchets d'élevage peut conduire à une perception correcte des coûts inhérents à ces travaux.

Si la meilleure façon de connaître les habitudes des éleveurs vis-à-vis des déchets de leur exploitation reste les entretiens directs, il importe que ceux-ci soient bien préparés. Le temps disponible des éleveurs étant généralement limité, l'entretien doit être réservé aux questions essentielles pour ne négliger aucun point.

C'est pourquoi dans une première phase nous nous sommes intéressés aux habitudes des éleveurs en matière de gestion des effluents et plus généralement au fonctionnement des élevages porcins réunionnais à partir d'études déjà réalisées sur les élevages réunionnais et sur la gestion des effluents porcins dans le monde.

Matériel et méthodes

LES DONNEES A DISPOSITION

Les rapports CIRAD et La BDEXP

Le CIRAD travaille depuis déjà plusieurs années sur la zone de Grand Ilet. Un grand nombre de rapports ont été produits. Ces rapports décrivent, pour la plupart, les pratiques agricoles des éleveurs en matière de gestion de leurs effluents. La première partie de l'ATP 99/60 consistait à qualifier et quantifier les effluents d'élevage de Grand Ilet afin de définir les risques potentiels pour l'environnement naturel. Aucune donnée économique n'apparaît donc dans ces rapports. Néanmoins, leur lecture nous a permis de mieux appréhender la zone d'étude.

A partir de ces nombreuses études et enquêtes réalisées, le CIRAD a enregistré l'ensemble des données recueillies dans une base de données sur Ms Access © : la BDEXP. Cette base de données contient des valeurs relatives à 200 élevages de la zone et la plupart des productions animales y sont présentes. Ces données se rapportent essentiellement aux élevages et à leur système de production. Néanmoins, nous trouvons quelques données concernant les cultures, la production de compost à partir des effluents, les épandages, le matériel dont disposent les éleveurs.

Internet

De nombreux sites Internet traitent du problème des pollutions causées par les effluents d'élevage porcins. Beaucoup exposent les solutions existantes sans trop se pencher sur les coûts des méthodes de traitement. Lorsqu'un site présente des coûts de stockage ou de traitement, c'est toujours dans un contexte différent de celui de la Réunion. En effet, les calculs de coûts de gestion du lisier qui ont déjà été réalisés en Métropole ou à l'étranger, le sont sur la base d'exploitations très intensives pouvant comporter 100 truies et plus. Le contexte réunionnais, avec une moyenne de 20 truies par élevage, n'a donc rien de comparable et n'est pas soumis aux mêmes coûts.

Le site le plus intéressant pour nos besoins est celui du Groupe de recherche en économie et politiques agricoles (GREPA) du département d'économie rurale de cette l'université Laval au Québec (voir adresse en bibliographie). Cette étude a permis de trouver un angle d'approche pour calculer les coûts de gestion des effluents des exploitations de la Réunion. En effet, le groupe de recherche canadien a décomposé les coûts de gestion des effluents selon trois étapes distinctes : le nettoyage, le stockage et l'épandage. Pour chacune de ces étapes, un coût au m³ de lisier traité peut être calculé. La même décomposition a été retenue pour cette analyse car, comme le confirmait la BDEXP, les éleveurs réunionnais pratiquent, à une échelle moindre, les mêmes tâches quotidiennes pour gérer le lisier de leur élevage.

LES ENQUETES DE TERRAIN ET LE TRAITEMENT DES DONNEES

Les premières enquêtes de terrain ont été réalisées auprès des concessionnaires de matériels agricoles. Le prix des tracteurs neufs et de l'épandage de lisier à la tonne à lisier a pu ainsi être appréhendé. Mais aucun concessionnaire n'avait le souvenir d'avoir jamais travaillé avec des éleveurs de Grand-Ilet (à quelques exceptions près) alors qu'ils sont géographiquement les plus aptes à leur fournir du matériel.

L'explication a été fournie par les enquêtes auprès des éleveurs qui possèdent majoritairement du matériel d'occasion assez ancien. Les prix d'achat indiqués par les concessionnaires sont peu réalistes par rapport à ceux qui sont pratiqués à Grand-Ilet.

La journée « portes ouvertes » à Bras Panon sur les nouvelles solutions pour le stockage des effluents a également permis de connaître précisément les coûts de fabrication d'ouvrages de stockage comme la fosse géomembrane, la poche à lisier et la fosse béton étanche. Là encore, les coûts ne correspondent pas à la réalité du terrain puisque aucun éleveur de Salazie n'est équipé d'un tel ouvrage de stockage. Cependant les coûts de ces ouvrages seront d'actualité lorsque la mise aux normes des bâtiments d'élevage sera nécessaire.

Les rencontres avec des personnes-ressources ont permis de mieux connaître les habitudes des éleveurs en matière de gestion des effluents et de connaître également le prix du petit outillage utilisé par les éleveurs, notamment lors du nettoyage des bâtiments.

Lors des enquêtes de terrain, il a été possible d'interroger de manière complète neuf éleveurs de Grand-Ilet. Nous avons soumis à chacun d'eux un questionnaire concernant les aspects technico-économiques des différentes opérations de gestion du lisier à la ferme.

Comme deux de ces éleveurs épandent le lisier de 6 exploitations et que deux autres éleveurs appartiennent à deux CUMA (Coopérative d'utilisation du matériel agricole) de 4 éleveurs chacune, les données recueillies sur l'épandage concernent de fait 21 éleveurs au total, soit 38 % des 56 éleveurs de porcs de Grand-Ilet.

Les données de coûts de chaque éleveur ont été séparées en trois catégories : le coût du nettoyage, le coût du stockage et le coût de l'épandage. Cette dernière catégorie a été subdivisée selon les trois modes d'organisation de l'épandage mis en évidence par les enquêtes. Les éleveurs peuvent, en effet, soit épandre leur lisier moyennant un forfait payé à un autre éleveur, soit épandre leur lisier eux-mêmes avec leur propre matériel ou encore épandre leur lisier et celui d'autres exploitations.

A l'aide du logiciel Statistica ©, les données ont été traitées afin de suivre l'évolution du coût annuel, au m³ de lisier traité, de chaque opération de gestion des effluents en fonction de la taille de l'élevage.

Les résultats

LE NETTOYAGE DES BATIMENTS OU L'EVACUATION DU LISIER

L'opération de nettoyage, et donc son coût, n'est pas directement fonction de la quantité de lisier produit au sein de l'exploitation. En effet, en fonction de la configuration des sols, le nettoyage peut être plus ou moins automatisé.

Il existe trois types de revêtement de sol dans les élevages de la zone de Grand Ilet (cf. BDEXP).

- Le gisoir : il s'agit d'un sol bétonné recouvert parfois d'une litière en paille. Il n'y a pas d'évacuation automatique des excréments vers un système de type préfosse. Il revient à l'éleveur de les évacuer manuellement. Au mieux, il existe un système d'écoulement des liquides de déjections par des rigoles vers des fosses de stockage situées sous les bâtiments.
- Le caillebotis intégral : il s'agit de lattes en béton ou métal, placées au-dessus d'une préfosse qui laissent passer la majeure partie des déjections directement dans la préfosse.
- Le caillebotis partiel : est un système intermédiaire ; la surface au sol est bétonnée pour l'essentiel avec une partie en caillebotis intégral permettant à l'éleveur d'évacuer plus facilement les déjections vers la préfosse.

Le type de revêtement de sol varie selon les exploitations, mais également au sein d'une même exploitation, en fonction de la section d'élevage : gestation, maternité, engraissement.

Il est difficile d'établir des règles de distribution du type de sols en fonction des sections mais ce qu'il faut retenir c'est que les temps de nettoyage dépendent fortement du type de revêtement au sol et de la taille de l'élevage¹.

CALCUL DU COUT DES OPERATIONS DE NETTOYAGE

Lorsque l'éleveur nettoie ses bâtiments, il n'a pas de frais de main-d'œuvre hormis son travail qu'il ne rémunère pas directement. Néanmoins pour calculer au mieux les coûts de gestion du lisier, on peut estimer le coût de l'heure de main d'œuvre de l'exploitant (S) à 70 F². Ce coût sera multiplié par le nombre d'heures passées annuellement (T_{net}) par l'éleveur pour le nettoyage et l'évacuation du lisier.

Les enquêtes de terrain ont fourni un temps quotidien de nettoyage pour chaque exploitant. Un exploitant travaille, en général, six jours par semaine. Le temps annuel consacré au nettoyage des bâtiments correspond donc au temps quotidien par 312 jours (6 jours * 52 semaines).

Pour les élevages sur « gisoir », cette hypothèse n'est pas retenue car l'éleveur nettoie ses bâtiments tous les jours. On ne tient pas compte des vacances de l'éleveur car, dans ce cas, il se fait remplacer par un membre de sa famille ou un voisin et les coûts restent identiques.

L'équation pour le calcul du coût moyen annuel (en F/m³) de la main-d'œuvre liée au nettoyage est :

$$C_{mo} = (T_{net} * S) * M^{-1}$$

où :

T_{net} = Heures/jour * T où T=365 pour l'élevage sur gisoir et 312 pour l'élevage sur caillebotis intégral et partiel ;

M = Quantité annuelle de lisier produit (en m³).

Le petit outillage, type balai ou raclette, peut être négligé. Son prix, peu élevé une fois ramené au m³ de lisier produit, n'influence pas significativement le coût du nettoyage. Il faut tout de même prendre en compte le coût des nettoyeurs, type Karcher (jet d'eau haute pression), que beaucoup d'éleveurs utilisent.

Pour calculer le coût unitaire annuel de ce type d'outillage nous avons divisé son prix d'achat (P) par sa durée de vie (DV) estimée à 7 ans et par le nombre de m³ de lisier produits, d'où :

$$C_o = (P/DV) * M^{-1}$$

Le prix d'achat de ces nettoyeurs varie entre 4 000 et 6 000 francs.

Le coût annuel du nettoyage au m³ est obtenu en additionnant le coût de la main-d'œuvre et de l'outillage : $C_n = C_{mo} + C_o$.

Il existe une grande hétérogénéité au niveau des coûts. Les coûts de nettoyage les moins élevés, aux alentours de 15 F/m³, correspondent à des élevages sur caillebotis intégral.

Les coûts aux alentours de 60 F/m³ correspondent à des élevages sur caillebotis partiel ou d'un mélange de partiel et intégral. Les coûts les plus élevés, entre 160 et 250 F/m³, sont supportés par les éleveurs avec un sol type gisoir. Le type de sol de la porcherie influence donc significativement le coût de nettoyage.

Ainsi, il est possible d'effectuer une régression non linéaire à partir des données de coûts pour les élevages en caillebotis partiel et intégral. Les élevages sur sol gisoir sont négligés volontairement car ils sont rares à Grand-Ilet.

Dans la suite de l'étude, on retiendra que le coût moyen annuel du nettoyage est fonction de la taille de l'élevage et que la relation entre ces deux grandeurs est de la forme :

$$C_n = 506,4 * X^{-0,86} \quad (R=0,67)$$

1. Pour une description des opérations de nettoyage selon le type de sol, voir Caisso (2001).

2. Il semble raisonnable d'estimer la valeur horaire de la main-d'œuvre de l'éleveur au Smic, qui, avec les charges patronales, revient à 70 F/h. Cette hypothèse demande néanmoins à être validée lors de futures enquêtes auprès du secteur agricole de la Réunion.

où : C_n = Coût moyen annuel (en F/m³) et X = Taille de l'élevage en nombre de TNE³.

LE STOCKAGE DU LISIER

Le stockage constitue la deuxième opération de la chaîne de gestion du lisier. Il permet d'éviter la dispersion incontrôlée du lisier aux alentours de l'élevage et de préparer l'épandage en facilitant le chargement d'une tonne de lisier.

Il s'agit d'une étape passive dans le sens où aucun temps de travail ne lui est directement imputé. Elle dépend donc principalement des caractéristiques liées aux structures d'entreposage.

La seule tâche de l'éleveur durant cette phase de stockage consiste à ajouter des produits désodorisants dans le lisier stocké. Le prix de revient de ces produits doit être pris en compte.

A Grand-Ilet, toutes les fosses à lisier des exploitations enquêtées sont des fosses « béton » auto-construites. Cela signifie que l'éleveur a bâti lui-même sa fosse à lisier avec des parpaings ou du béton.

Les élevages de Grand-Ilet sont, dans leur totalité, dans cette situation puisque aucune entreprise de l'île, susceptible de construire de tels ouvrages, n'a jamais travaillé sur cette zone.

Ces fosses auto-construites posent plusieurs problèmes.

D'une part, elles ne sont pas normalisées et n'ont pas de garantie décennale. Or, il s'agit de deux conditions nécessaires à l'obtention d'un classement en Icpe (Installations classées pour la protection de l'environnement) de leur élevage et d'une subvention de la part de la région. D'autre part, ces fosses peuvent poser des problèmes environnementaux. En effet, les normes de construction imposent que ce type d'ouvrage puisse stocker quatre mois de lisier (Copette, 2001) et qu'il soit étanche.

A Salazie, par manque de place et d'argent, la plupart des fosses sont de petite taille. La taille moyenne des fosses est de 56 m³ (cf. BDEXP), ce qui permet de stocker quatre mois de lisier pour un élevage de 8 truies seulement, alors qu'il n'est pas rare de voir des élevages de 40 truies avec une fosse de 50 m³ ou moins (Renault et Paillat, 1999).

Les deux paragraphes suivants sont consacrés aux coûts réels que supportent les éleveurs avec leur fosse auto-construite et aux coûts qu'ils devraient supporter s'ils étaient contraints de mettre aux normes leur structure de stockage.

LES COUTS REELS LIES AU STOCKAGE

Le coût des fosses auto-construites est difficile à estimer. La plupart des éleveurs ont construit leur fosse en même temps que les bâtiments d'élevage et n'ont donc pas tenu une comptabilité précise sur la fosse en particulier. La construction de ces fosses est, par ailleurs, souvent ancienne ; certains éleveurs possèdent une fosse construite par leur père, précédent propriétaire de l'exploitation. La connaissance du coût de construction est alors impossible ou difficile.

Cependant, tous ceux qui ont donné une estimation ont indiqué un coût unitaire de construction (CC) aux alentours de 300 F/m³. Les différents techniciens rencontrés confirment ce coût, compte tenu du prix du béton et des parpaings. En tenant compte des frais de main-d'œuvre et des éventuels frais d'entretien liés à la perte d'étanchéité de la fosse au cours des années, on arrive à un coût de construction de 400 F/m³.

La durée de vie des fosses (DV) est, elle aussi, difficile à déterminer. Néanmoins il est possible, pour pratiquer un amortissement linéaire, de retenir une durée de vie de 15 ans.

Le calcul du coût de revient de la fosse (CF), annualisé et par m³, à partir de la taille des fosses (TF) en m³ utiles, relevée par l'enquête pour chaque exploitant, se fait de la manière suivante :

$$CF = (TF * CC / DV) * M^{-1}$$

où : M = Quantité annuelle de lisier produit (en m³).

S'agissant du coût des produits anti-odeur (C_{ao}), la marque utilisée explique les différences entre éleveurs. Pour déterminer le coût d'utilisation d'un tel produit au m³ de lisier stocké, les quantités de

3. Truie Naisseur Engraisseeur – Unité désignant la truie et sa descendance annuelle de porcelets sevrés puis engraisés.

produit utilisées par année (Q_{an}) ont été calculées à partir des dosages d'utilisation préconisés par le fabricant. Ensuite, la quantité utilisée annuellement a été multipliée par le prix au litre du produit (P), puis divisé par le nombre de m^3 traités. Le calcul est donc le suivant :

$$C_{ao} = (Q_{an} * P) * M^{-1}$$

Le coût de l'opération de stockage s'obtient en additionnant CF et C_{ao} : $C_s = CF + C_{ao}$. Les résultats des enquêtes de terrain donnent un coût annuel de stockage entre 2 et 15,5 F/ m^3 de lisier.

Au regard de ces données, il est possible de conclure que le stockage du lisier n'est pas une étape très coûteuse. Le fait que cette étape n'exige que peu de main-d'œuvre en est la raison principale. Mais les ouvrages étant auto-construits, l'investissement est, de plus, généralement assez faible. Son coût de revient au m^3 est d'autant plus faible qu'il est amorti sur une longue période. Enfin, comme nous l'avons déjà souligné, les éleveurs ont des structures de stockage sous-dimensionnées par rapport à la taille de leur élevage.

COUTS THEORIQUES DU STOCKAGE AUX NORMES

Dans les années à venir, la mise en application des lois sur les bâtiments d'élevage va contraindre les éleveurs à mettre aux normes leur structure de stockage s'ils veulent continuer à exercer. Dans ce cas, et si la loi sur les Icpe n'est pas adaptée au contexte réunionnais, les ouvrages de stockage des effluents de grande capacité (à partir de 150 m^3) devront être exécutés par un entrepreneur ou artisan permettant ainsi d'obtenir la garantie décennale. Dans le cas où l'agriculteur réaliserait lui-même la construction, il devra faire appel à un bureau de contrôle externe chargé de vérifier la réalisation dans les normes de l'ouvrage.

Ces fosses devront de plus être suffisamment grandes pour assurer le stockage d'une quantité de lisier de quatre mois d'exploitation au minimum.

Dans le cadre de la mise en place du PMPOA (Plan de maîtrise des pollutions d'origine agricole) à la Réunion, la FRCA (Fédération réunionnaise des coopératives agricoles) a demandé aux entreprises du bâtiment spécialisées dans le gros œuvre et susceptibles de construire des fosses à lisier, un devis pour un tel ouvrage.

Les coûts inhérents à ce type de travaux ne sont pas globalement bien appréhendés par les entrepreneurs en raison du manque de références concernant les travaux de mise aux normes des bâtiments d'élevage et notamment des ouvrages de stockage des effluents. Ainsi, les coûts de construction d'une fosse de stockage en béton varient énormément d'une entreprise à l'autre et sont peu fiables.

En métropole, les choses sont beaucoup plus claires en matière de prestation pour les entreprises de gros œuvre. Le coût d'une fosse évolue en fonction de sa taille et du mode de stockage choisi. (cf. Le Bordereau des coûts unitaires en bâtiments agricoles, édition 2000).

La différence entre une fosse construite en métropole et à la Réunion s'explique par le coût des matériaux et de la main-d'œuvre majorés à la Réunion par le contexte socio-économique.

La FRCA a donc calculé un coût théorique des fosses normalisées en fonction des méthodes de calcul retenues par l'agence de l'eau de Loire-Bretagne auquel s'applique un coefficient de majoration de 50 % afin de prendre en compte le contexte réunionnais.

Le coût de revient du stockage du lisier dans l'hypothèse de la construction de ces fosses normalisées, ne serait pas exact si les subventions auxquelles auront droit les éleveurs lors de la mise aux normes de leur exploitation n'étaient pas déduites.

Le régime d'aide locale au titre du PMPOA a été établi par l'administration en 1999 et révisé en 2000. Il est basé sur une appréciation des coûts des travaux en métropole et un coefficient de majoration de 30 % à 50 %.

A l'heure actuelle, les éleveurs peuvent espérer une subvention de 600 F/ m^3 pour une fosse couverte et de 450 F/ m^3 pour une fosse non couverte.

Pour calculer les coûts annuels/ m^3 on suppose que la taille de la fosse théorique équivaut à la quantité de lisier produit annuellement/3 pour obtenir la quantité de lisier produit en 4 mois. Le coût de construction avec subvention est obtenu en soustrayant 600 F au coût de construction donné précédemment.

Le coût du traitement anti-odeur (C_{ao}) est intégré dans le coût du stockage et est calculé à partir des recommandations d'usage (0,15 kg/m³ de lisier = dose) pour le produit « Bio-Lisier », vendu 415 F le bidon de 10 kg = 41,5 F/kg (P).

Dans ces conditions, le calcul est le suivant :

$$C_{ao} = d * P$$

où :

d = Dose (en kg/ m³) ;

P = Prix du produit (en F/kg) .

Ce coût est constant quelle que soit la taille de l'élevage et est égal à 6,2 F/m³.

Le calcul du montant global des travaux s'obtient par la formule suivante :

$$MT = CC_s * TF_t$$

où :

MT = Montant global des travaux (en F) ;

CC_s = Coût de construction subventionné (en F/m³) ;

TF_t = Taille fosse théorique (en m³).

Ce qui nous permet, par la formule suivante, de calculer le coût de stockage annuel au m³ de lisier :

$$Cs = (MT/DV) * M^{-1} + C_{ao}$$

où :

Cs = Coût unitaire annuel du stockage (en F/m³) ;

DV = Durée de vie = 15 ans.

On peut représenter les coûts théoriques du stockage par m³ en fonction de la taille de l'élevage :

$$Cs = 93,2 * X^{-0,73}$$

où : Cs = Coût annuel du stockage au m³ et X = Taille de l'élevage en TNE.

En considérant le coût/m³ sans subvention, la fonction est ⁴:

$$Cs = 70,7 * X^{-0,35}$$

L'EPANDAGE DU LISIER

Les surfaces épandables, au sens de la loi (Copette, 2001), sont largement insuffisantes dans le cirque de Salazie et notamment à Grand-Ilet, pour absorber tout le lisier produit par les exploitations du cirque. L'épandage à Grand-Ilet est donc à l'heure actuelle nécessairement « hors la loi ».

En termes d'investissements, pour épandre du lisier, une tonne à lisier et un tracteur sont nécessaires. La tonne à lisier est une cuve, de dimension variable, posée sur un châssis et équipée d'une pompe mécanique qui permet d'aspirer le lisier (à condition qu'il soit suffisamment liquide) d'une fosse vers la cuve. Le tracteur permet d'amener cette tonne vers le lieu d'épandage.

Les coûts d'équipement peuvent donc être très importants pour l'épandage, même si les éleveurs ont droit à des subventions lorsqu'ils achètent du matériel neuf. La subvention de la région représente 45 % du prix d'achat, plafonné à 50 000 F.

Les éleveurs de Grand-Ilet ne peuvent, pour la quasi-totalité d'entre eux, supporter de tels investissements. C'est pourquoi ils trouvent différents systèmes d'organisation pour l'épandage du lisier.

Les enquêtes de terrain ont relevé trois modes différents de gestion du lisier dont la description et le coût sont indiqués ci-après.

4. Si deux fonctions sont à considérer pour les coûts fixes et variables, nous avons :

Csf = 73,21 * X^{-0,46} et Csv = 6,2.

Les coûts d'épandage pour un éleveur sans matériel (type I)

L'éleveur qui ne possède ni tracteur, ni tonne à lisier fait appel à un autre éleveur possédant ce matériel pour épandre son lisier soit sur ses parcelles, soit sur les parcelles de l'éleveur qui l'aide, soit sur les parcelles de voisins. Cet éleveur (type I) doit payer un forfait à l'éleveur (type III) qui vient lui épandre son lisier, comprenant la location du matériel et la rémunération du travail de l'éleveur.

A Grand-Ilet, ce forfait varie entre 100 et 300 F de l'heure selon les liens qui existent entre les deux éleveurs et la distance à parcourir.

On peut noter qu'avec ce mode de gestion du lisier, le coût de l'épandage au m^3 (C_e) ne varie pas en fonction de la taille de l'élevage. En fait, ce qui détermine les variations de C_e , sont les distances parcourues et donc les temps de transports consacrés pour l'épandage, ainsi que le montant du forfait.

Le C_e pour l'éleveur de type I est présenté pour trois situations particulières où les distances parcourues, le temps de transport et le montant du forfait sont fixés.

Situation 1: distance exploitation-lieu d'épandage = 1 km, temps de transport = 20 mn, forfait=100 F/h ;

Situation 2: distance =2 km, temps de transport = 30 mn, forfait = 200 F/h ;

Situation 3: distance = 3 km, temps de transport = 40 mn, forfait =300 F/h.

Ces situations sont assez représentatives des situations rencontrées à Grand-Ilet. Les temps de transport présentés ci-dessus correspondent le plus souvent aux temps donnés par les éleveurs pour ces distances.

Pour ces trois situations le C_e est calculé selon la formule :

$$C_e = (T_e * P) * M^{-1}$$

où :

T_e = Temps annuel nécessaire pour l'épandage (en h)⁵ ;

P = Montant du forfait (en F/h) ;

M = Lisier produit annuellement (en m^3) ;

Ce calcul donne les résultats suivants en F/ m^3 de lisier :

$C_e = 6,7; 20; 40$ selon le cas.

Les coûts d'épandage pour un éleveur avec matériel (type II)

L'éleveur possède un tracteur et une tonne, ce qui lui permet d'épandre le lisier de son élevage. Il n'épand que le lisier de son propre élevage. Il épand généralement sur ses parcelles mais peut aussi l'épandre sur celles de ses voisins.

Contrairement à l'éleveur qui n'a pas de matériel, l'éleveur qui épand son lisier par ses propres moyens supporte tous les coûts liés à l'achat et à l'utilisation du matériel d'épandage.

Pour le calcul des coûts fixes, on retient le prix d'achat du tracteur (P_{tr}), le prix d'achat de la tonne à lisier (P_{to}), le montant annuel de l'assurance du matériel (P_{ass}) et le montant annuel pour l'entretien et les réparations (P_{ent}).

Si l'on tient compte d'un amortissement linéaire, les prix d'achat du tracteur et de la tonne seront divisés par leur durée de vie (DV_{tr} et DV_{to}). La durée de vie retenue pour ce matériel est de 15 ans.

5. Le temps annuel nécessaire à l'épandage (T_e) est calculé de la manière suivante :

$$T_e = n * R$$

où :

$$n = M / T_t$$

Avec :

n = Nombre de voyages annuels

M = Lisier produit annuellement (en m^3)

R = Temps de la rotation (en h)

T_t = Taille de la tonne (en m^3)

On retiendra une taille de tonne à lisier de $5m^3$ car c'est la taille standard des tonnes à lisier sur Grand-Ilet.

Toutefois, si un tracteur est acheté d'occasion et qu'il a déjà 5 ans, par exemple, on retiendra alors une durée de vie de 10 ans.

Soulignons aussi que dans le prix d'achat du matériel, on tient compte de la réduction liée aux subventions dont les éleveurs ont pu bénéficier.

Pour les coûts fixes, la formule est donc la suivante :

$$C_{ef} = (P_{tr}/DV_{tr} + P_{to}/DV_{to} + P_{ass} + P_{ent}) * M^{-1}$$

Pour le calcul des coûts variables, on retient les frais de carburant et les frais de main-d'œuvre qui dépendent de la distance parcourue par rotation et donc du temps d'une rotation (R) mesuré en heures. Les frais d'essence vont également dépendre de la consommation du tracteur de l'exploitant à l'heure de travail (C_{ess}) à multiplier par le prix du gasoil détaxé (P_g) qui est de 3,20 F le litre. Les frais de main-d'œuvre dépendent, eux aussi du temps de la rotation multiplié par le taux de rémunération horaire de 70 F (S).

Un éleveur, en général, épand son lisier à différents endroits. Selon les endroits où il épand, on observe des coûts variables différents. Par la suite, les coûts variables de chaque éleveur seront présentés en fonction de leurs différents chantiers d'épandage ce qui permettra de calculer un coût variable moyen pour chaque éleveur.

La formule pour les coûts unitaires variables est donc :

$$C_{ev} = (R * C_{ess} * P_g + R * S) * T_t^{-1}$$

Les analyses de régression effectuées sur les valeurs observées à Grand Ilet ont permis d'obtenir les fonctions suivantes de coût fixe et variable en F/m^3 :

$$C_{ef} = 333,9 * X^{-0,69} \quad (R=0,91)$$

$$C_{ev} = 335,2 * X^{-0,95} \quad (R=0,95)$$

où : X = Taille de l'élevage en TNE.

Les coûts d'épandage pour un éleveur qui épand le lisier de plusieurs exploitations (type III)

Avec son tracteur et sa tonne, l'éleveur épand son lisier ainsi que celui d'autres exploitations qui ne possèdent pas de matériel pour épandre. Il pratique un montant forfaitaire qui correspond aux tarifs des éleveurs de type I.

Les éleveurs de type III ont les mêmes charges fixes et variables que les éleveurs de type II. En revanche, ils perçoivent des recettes provenant des services offerts aux éleveurs du type I. D'après les entretiens avec les deux éleveurs de ce type, la quantité de lisier épandue pour les éleveurs de type I est, en moyenne, égale à 1,225 fois leur propre lisier.

Limites de l'analyse et simplifications

Un certain nombre d'hypothèses ont été émises pour calculer les coûts de gestion individuels des effluents d'élevage. Certaines de ces hypothèses influencent fortement les résultats. C'est par exemple le cas du coût de la main-d'œuvre fixé arbitrairement à 70 F/m³.

Concernant le coût du nettoyage, la régression statistique a été réalisée en négligeant les coûts de nettoyage sur sol gisoir. Il est certain que cela contribue à diminuer le coût moyen de cette opération mais cette omission se justifie par le fait que les élevages sur ce type de sol sont rares à Grand-Ilet et ne concerne souvent que des exploitations de petites tailles. De plus, les deux éleveurs rencontrés travaillant sur sol gisoir affirment vouloir passer au caillebotis partiel ou intégral, conscients de la forte charge de travail que le gisoir implique.

Il aurait été souhaitable d'affecter un coefficient d'utilisation de l'outillage lors du calcul du nettoyage. En effet, les nettoyeurs, type Karcher, servent toujours à des tâches autres que l'élevage (lavage de voiture, etc.). Mais il est impossible de savoir dans quelle proportion le nettoyeur est utilisé pour le nettoyage des bâtiments d'élevage sans un suivi continu et à long terme des élevages. Les éleveurs n'en avaient, en tout cas, aucune idée, à priori, lors des interviews.

L'omission de ce coefficient qui tendrait à abaisser le coût de l'outillage par m^3 permet peut-être, finalement, de compenser la non-prise en compte du coût de l'eau consommée lors du nettoyage avec un Karcher et qui tendrait plutôt à faire augmenter le coût de l'opération.

L'omission du coût de l'eau s'explique par le manque de connaissance, de la part des éleveurs, de la quantité d'eau utilisée annuellement pour le nettoyage.

De toute façon, le coût de l'outillage influence très peu le coût du nettoyage au m^3 de par le faible investissement qu'il représente et de par sa relative longue durée de vie.

Les coûts réels du stockage au m^3 dépendent du coût de construction retenu de 400 F/ m^3 (sauf pour deux éleveurs). Comme il a déjà été dit, il est difficile de savoir si ce coût correspond exactement au coût réel de construction des fosses. Il aurait sûrement fallu tenir compte dans ce coût, d'un effet dégressif en fonction de la taille de la fosse, mais les données sont, là encore, insuffisantes pour effectuer un tel calcul.

Quant à la méthode retenue pour le calcul des coûts théoriques de construction d'une fosse normalisée, le taux de majoration de 50 % peut sembler arbitraire, mais il permet néanmoins d'obtenir des coûts proches des coûts constatés sur le terrain (l'effet de la subvention compensant la hausse du coût de construction obtenue lorsque c'est un entrepreneur agréé qui construit la fosse).

Enfin, en ce qui concerne les coûts d'épandage, ils sont basés sur une plus grande quantité de données. Leur validité est donc plus certaine.

Deux hypothèses fortes peuvent néanmoins influencer ces coûts. Le coût de la main-d'œuvre retenu joue sur les résultats par le biais des coûts variables supportés par les éleveurs de type II et III, sans que l'on puisse confirmer cette valeur. Ensuite, la durée de vie du matériel joue sur le taux d'amortissement linéaire et donc sur les coûts fixes des éleveurs de type II et III. Une durée de vie de 15 ans pour le tracteur et la tonne semble être celle qui est le plus prêt de la réalité bien que les données sur le vieillissement du matériel agricole soient insuffisantes pour confirmer cette valeur.

2 Les coûts de gestion collective

Matériel et méthodes

L'analyse de la base de données BDEXP du CIRAD nous a permis de sélectionner les éleveurs qui travaillaient déjà en système collectif pour le traitement de leurs effluents⁶. Ces éleveurs ont été enquêtés par entretien individuel. Les entretiens étaient conduits à l'aide d'une grille, sorte de canevas préparés afin de n'oublier aucun poste pouvant induire des charges financières. Cette grille a été réalisée à l'aide de la BDEXP qui, sans contenir de données économiques, contenait néanmoins les champs (ou colonnes) prêts à recevoir ces données.

L'ensemble des données recueillies permet de définir deux systèmes de traitement des effluents d'élevage collectif présent sur la zone d'étude :

- les épandages collectifs ;
- le compostage collectif.

D'autres enquêtes visant à déterminer les coûts d'achat des matériels agricoles (type tracteur, tonne à lisier, etc.) ont été réalisées auprès des revendeurs (voir partie sur les coûts de gestion individuelle).

Quant aux coûts engendrés par le génie civil (plate-forme de compostage), les données ont été recueillies dans un rapport produit par la Fédération réunionnaise des coopératives agricoles (FRCA)⁷. Ce même rapport a fourni l'ensemble des coûts liés au génie civil pour d'autres types d'ouvrage comme les fosses de stockage, hangar, etc. utiles dans les calculs de station collective de traitement.

Pour déterminer les coûts engendrés par une hypothétique station collective de traitement des effluents d'élevage de Grand Ilet, trois étapes ont été nécessaires, à savoir :

- caractériser les élevages de la zone d'étude ;
- déterminer les coûts de transport des effluents d'élevage et des supports carbonés vers la station de traitement ;
- déterminer les coûts de traitement des effluents par la station, et les coûts ou recettes des coproduits du traitement.

- 1^e étape

La base de données du CIRAD sur les élevages à la Réunion a permis cette caractérisation des élevages de la zone d'étude.

- 2^e étape

Pour déterminer les coûts de transport des effluents à la station, il a fallu d'abord définir les distances à parcourir des élevages au site de traitement et les volumes d'effluents à transporter. Les élevages ont été placés sur la carte géographique de la zone à l'aide d'un logiciel de cartographie (Arcview ©). L'emplacement de chaque élevage a été déterminé grâce à ses coordonnées nord-sud⁸ lorsque celles-ci étaient disponibles ou, à défaut, grâce à son adresse postale. On a considéré que les élevages se trouvaient sur le site du domicile de l'éleveur. Les coordonnées nord-sud ont été récupérées dans la base de données de l'Union réunionnaise des coopératives agricoles (Urcoopa).

6. La zone étudiée comprend les lieux-dits de Grand-Ilet, Casabois, Maturin, Camp Pierrot, Mare à martin et Le Bélier.

Localisation des élevages :

Le Bélier :	8 élevages de porcs et 2 élevages de volailles ;
Camp Pierrot :	6 élevages de porcs et 5 élevages de volailles ;
Casabois :	9 élevages de porcs et 6 élevages de volailles ;
Grand-Ilet :	24 élevages de porcs et 26 élevages de volailles ;
Mare à martin :	3 élevages de porcs et 4 élevages de volailles ;
Maturin :	2 élevages de porcs et 2 élevages de volailles.

La base de données du CIRAD sur les élevages à la Réunion a permis de retenir 52 élevages de porcs et 45 élevages de volailles.

7. FRCA, 2001 ; « Le PMPOA à la Réunion, Rapport de l'exercice nov. 1999 – oct. 2000 », mars 2001, 27 p.

8. Déterminées à l'aide d'un GPS.

Les adresses postales ont été récupérées grâce à la BDEXP, le fichier client Urcoopa et l'annuaire téléphonique.

La définition du site de traitement a été obtenue par extrapolation de données recueillies dans le rapport réalisé par le bureau d'études Cyathea (1999a). L'étude avait révélé 13 terrains potentiels et 3 autres présentant des contraintes pouvant être partiellement levées. Les calculs de distance réalisés pour le transport des effluents au site sont valables pour 4 terrains dont un seul présentant des contraintes réglementaires.

Une fois les sites potentiels d'implantation de la station de traitement et les élevages positionnés sur la carte géographique de la zone, le logiciel a calculé la distance à parcourir entre chaque élevage et la station de traitement.

Pour déterminer les coûts de transport du support carboné, des transporteurs et des consommateurs de ce support ont été enquêtés.

Le volume de lisiers de porc à transporter était déjà quantifié. Pour le calcul, qui attribue à chaque TNE 20 m³ de lisier par an, avec un contenu moyen d'azote de 4 kg/ m³ d'effluent, voir Tiratay (2001).

- 3^e étape

Pour les calculs des coûts d'investissement et de fonctionnement des stations de traitement, ainsi que les coûts ou recettes des coproduits du traitement, nous avons utilisé le logiciel Macsizut (Farinet *et al.*, 2002). Ce logiciel, développé par le CIRAD est une modélisation technico-économique du traitement du lisier à partir de données relatives aux conduites d'élevage (cheptel porcin, alimentation, bâtiments utilisés) et aux références des constructeurs de procédés de traitement de lisiers de porcs. Il a permis d'évaluer les coûts d'investissement, de fonctionnement ainsi que les quantités de coproduits obtenues en fonction des procédés utilisés et de la dimension du système choisi. Le logiciel fournit des données économiques valables pour la France métropolitaine. Des ajustements locaux ont été effectués grâce aux rapports produits par la FRCA (2001) et le Cyathea (1999a).

Les possibilités de traitement collectif des effluents d'élevage de Grand Ilet envisagent également un système d'évacuation des effluents vers la zone côtière. Ce type de transport n'a pas lieu à la Réunion. Nous avons donc extrapolé des données à partir de différents types de transport. Les données proviennent des éleveurs qui font monter sur la zone des supports carbonés et des transporteurs d'aliments.

Définition des hypothèses retenues

Pour déterminer les coûts engendrés par une station collective de traitement, on a émis un certain nombre d'hypothèses de départ.

Concernant la taille de la station, on a envisagé trois scénarios :

- la totalité des lisiers de Grand-Ilet est traitée par la station (850 TNE soit 17 000 m³ de lisier) ;
- les 4/5 des lisiers sont traités par la station (640 TNE soit 13 000 m³ de lisier) ;
- la moitié des lisiers est traitée par la station (425 TNE soit 8 500 m³ de lisier).

Ces 3 hypothèses ont été retenues pour plusieurs raisons :

- il est envisagé qu'au moins la moitié des éleveurs adhèrent au traitement collectif de leurs effluents d'élevage puisqu'il n'y a pas de surface d'épandage sur la zone ;
- il est très probable que la majorité des éleveurs participent à ce système ;
- il est possible qu'avec un système de traitement fiable des effluents d'élevage, le nombre de TNE sur la zone augmente.

Dans l'hypothèse 1, on a vu plus haut que les élevages avaient été placés géographiquement, soit par les coordonnées géographiques nord-sud, soit par leur adresse postale. Pour les hypothèses 2 et 3, on a supposé une répartition géographique homogène des élevages participant au système de traitement.

La main-d'œuvre est rémunérée au salaire minimum d'insertion sociale. Avec les charges patronales, cela revient à 70 F brut par heure. Les travaux sont effectués par une main-d'œuvre fournie par la station de traitement afin de chiffrer sa valeur économique. Ce choix se justifie puisque même lorsque les éleveurs effectuent eux-mêmes ces travaux, il ya un coût de main-d'œuvre.

Pour déterminer le coût de la main-d'œuvre, on retient comme base salariale une personne au Smic à raison de 35 heures par semaine avec 5 semaines de congés annuels. Cette personne travaille alors 1 645 heures par an pour un coût annuel de 120 000 francs⁹.

L'amortissement du matériel et des équipements est considéré comme linéaire sur 7 ans, celui du génie civil sur 15 ans.

Le prix du gasoil est de 3,20 francs le litre.

L'entretien de matériels agricoles équivaut à 15 % des frais de carburant et leurs assurances correspondent à 1,5 % de la valeur d'achat du matériel (Chambre d'agriculture de la Réunion, 1989).

Les subventions possibles sur le transport ne concernent que l'achat de matériel. Il s'agit d'un montant plafonné à 40 000 francs avec un maximum de 50 %. Nous avons donc obtenu des résultats constants sur la baisse du coût au m³ de lisier traité.

Les procédés de traitement ont été simulés jusqu'au compostage des résidus liquides.

Dans les simulations financières, le matériel et la main-d'œuvre utilisés pour le transport, sont systématiquement financés par la station de traitement. Cette hypothèse a été appliquée pour la raison suivante : l'éleveur est tenu responsable du devenir de son effluent sauf s'il peut se décharger de cette responsabilité sur une structure de type Installation classée pour la protection de l'environnement (Icpe), ce qui est le cas d'une station collective de traitement des effluents. La station prend alors la responsabilité de son effluent. Dans le cas où les éleveurs ne sont pas déchargés de cette responsabilité et participent à un système de traitement collectif, il y a de fortes probabilités que l'ensemble des élevages soit soumis au régime d'autorisation d'exploiter. Cette obligation correspond à une décision concernant un projet local. Un cas similaire s'est produit en 2000. Il s'agissait d'un échange de lisier de porc entre éleveurs et planteurs de canne à sucre. Les autorités ont décidé que tout exploitant agricole voulant participer à ce système devait répondre au régime d'autorisation d'exploiter. Or, sur la zone de Grand Ilet, nombreux sont les élevages qui n'ont même pas d'autorisation d'exploiter sous le régime de la simple déclaration à cause de problèmes de permis de construire ou de plan d'épandage. Il est donc préférable d'envisager un système où l'éleveur est complètement déchargé du devenir de son effluent. Par ailleurs, il est plus fiable pour des raisons d'approvisionnement de la station, que celui-ci ne soit pas réalisé par les éleveurs eux-mêmes.

Résultats

LES PETITS GROUPEMENTS D'ELEVEURS OBSERVES DANS LA ZONE D'ETUDE

Cas d'épandage

Sur la zone étudiée, nous avons repéré un cas d'épandage collectif. Il s'agit d'un groupement de type Cuma qui regroupe 4 éleveurs avec un cheptel total de 50 TNE. La taille de chaque élevage est décrite par la suite.

- élevage 1 : 12 TNE, soit 240 m³ de lisier par an¹⁰ ;
- élevage 2 : 12 TNE, soit 240 m³ de lisier par an ;
- élevage 3 : 15 TNE, soit 300 m³ de lisier par an ;
- élevage 4 : 10 TNE, soit 200 m³ de lisier par an.

Le volume de lisier traité est donc de 980 m³ par an pour 50 TNE.

Ne connaissant pas la localisation des parcelles d'épandage, on a considéré d'après les données recueillies pendant les enquêtes que celles-ci se trouvaient à 60 minutes des élevages.

Les 4 éleveurs ont investi dans un tracteur et une tonne à lisier de 6 m³. Le montant total de l'investissement est de 260 000 F. Ils ont perçu une subvention de 65 000 F environ pour le tout. Soit un total de 195 000 F.

Si on considère un amortissement linéaire sur 15 ans, cela représente une charge annuelle de 13 000 francs.

9. Selon la formule : *Temps de travail annuel* = 35 heures par semaine x 47 semaines de travail.

10. Il est considéré 20 m³ de lisier par an et par TNE.

D'après la quantité de lisier et la capacité de la tonne, le nombre de rotations a été défini pour chaque élevage. Selon le temps de chaque rotation et le nombre de rotations par élevage, le temps nécessaire pour le transport du lisier pour l'épandage a été estimé de la façon suivante :

- élevage 1 : 40 heures ;
- élevage 2 : 40 heures ;
- élevage 3 : 50 heures ;
- élevage 4 : 34 heures.

Soit une utilisation de main-d'œuvre non rémunérée et de matériel de 164 heures par an.

Le coût de la main-d'œuvre non rémunérée est évalué à 70 F de l'heure¹¹.

Pour transporter le lisier aux parcelles, il faut 164 heures par an, soit un coût annuel de main-d'œuvre de 11 480 francs. Pour utiliser le matériel de transport, les éleveurs versent 150 francs par heure d'utilisation du tracteur pour financer les frais générés par ce dernier (carburant, entretien, assurance, etc.). Le matériel de transport étant utilisé 164 heures par an, cela représente un coût annuel de 24 600 francs.

Bilan du coût annuel de traitement du lisier sur bagasse par un petit groupement d'éleveurs :

Coût d'amortissement du matériel : 13 000 F ;

Coût de la main-d'œuvre non rémunérée : 11 480 F ;

Coût d'utilisation du matériel : 24 600 F.

Soit un total de 49 080 F par an pour traiter 980 m³ de lisier (50,08 F par m³ de lisier traité). Ce coût varie de 48 à 54 francs selon la taille du cheptel.

Cas du compostage

La zone étudiée ne compte qu'un seul cas de plate-forme de compostage collective. Il s'agit d'un groupement de quatre éleveurs de porcs réalisant du compostage de lisier de porcs sur bagasse. Les données d'enquête auprès du groupement sont les suivantes :

- élevage 1 : 27 TNE soit 540 m³ de lisier par an ;
- élevage 2 : 22 TNE soit 440 m³ de lisier par an ;
- élevage 3 : 10 TNE soit 200 m³ de lisier par an ;
- élevage 4 : 20 TNE soit 400 m³ de lisier par an.

Le volume de lisier traité est donc de 1 580 m³ par an pour 79 TNE. D'après les adresses des élevages, l'élevage 1 se situe à environ 200 m de la plate-forme de compostage et les élevages 2, 3 et 4 à 800 m en moyenne.

Le groupement utilise 150 tonnes de bagasse par an. Cette bagasse est récupérée gratuitement par les agriculteurs¹². La bagasse est montée sur la zone de Grand Ilet par un transporteur ; le camion-benne utilisé a une capacité de 4 tonnes et coûte au groupement 1 100 francs par voyage. Il faut donc 38 voyages par an pour monter l'ensemble de la bagasse sur la plate-forme de compostage, ce qui représente un coût de 41 800 francs par an.

Les investissements réalisés pour ce traitement du lisier par compostage consistent en :

- une plate-forme bétonnée : 400 000 F ;
- un tracteur : 190 000 F (- 40 000 F de subvention) ;
- une tonne à lisier d'une capacité de 4,7 m³ : 47 000 F (-24 000 F de subvention). Soit un total de 584 000 F.

Si nous considérons un amortissement linéaire sur 15 ans, la charge annuelle est de 38 933 francs.

Pour le transport du lisier à la plate-forme, d'après la quantité de lisier et la capacité de la tonne, le nombre de rotations est estimé à :

- élevage 1 : 115 rotations ;
- élevage 2 : 84 rotations ;
- élevage 3 : 43 rotations ;
- élevage 4 : 85 rotations.

11. Ce coût de 70 F représente un salaire horaire au Smic, charges comprises.

12. La quasi-totalité de la bagasse produite par les usines sucrières est envoyée vers des centrales thermiques. Les planteurs de canne reçoivent une contrepartie financière, mais une faible partie de cette bagasse est distribuée aux agriculteurs selon des quotas.

D'après les distances des élevages à la plate-forme, les temps de manipulation incompressible du matériel, le temps de remplissage et de déversement du lisier et les données fournies par les éleveurs, les temps des rotations du transport du lisier à la plate-forme sont évalués à 30 minutes pour l'élevage 1 et 45 minutes pour les élevages 2, 3 et 4.

D'après le temps de chaque rotation et le nombre de rotations par élevage, le temps nécessaire pour transporter le lisier de chaque élevage à la plate-forme est estimé à :

- élevage 1 : 58 heures ;
- élevage 2 : 70 heures ;
- élevage 3 : 32 heures ;
- élevage 4 : 64 heures.

Soit une utilisation de main-d'œuvre non-rémunérée et de matériel de 223 heures par an pour le transport du lisier.

Les 4 éleveurs travaillent sur le procédé de compostage une demi-journée tous les 15 jours pour imprégner le lisier sur la bagasse et retourner les andains en cours compostage. Ce qui équivaut au travail d'une personne pendant une journée entière chaque semaine, soit 417 heures de travail par an.

Pour réaliser le compostage, il faut 417 heures par an et pour transporter le lisier, il en faut 223 ; soit un besoin de 639 heures de main-d'œuvre par an. Le coût annuel de la main-d'œuvre (en retenant un coût de main-d'œuvre non-rémunérée de 70 F de l'heure) est estimé à 44 800 francs.

Pour utiliser le matériel de transport, les éleveurs versent 100 francs par heure d'utilisation du tracteur pour financer les frais générés par ce dernier (carburant, entretien, assurance, etc.). Le matériel de transport étant utilisé 223 heures par an, le coût annuel équivaut à 22 300 francs.

Bilan du coût annuel de traitement du lisier sur bagasse par un petit groupement d'éleveurs :

- coût du support carboné : 41 800 F ;
- coût de l'investissement du matériel : 38 933 F ;
- coût de la main-d'œuvre non rémunérée : 44 800 F ;
- coût de l'utilisation du matériel : 22 300 F.

Soit un total de 147 833 F par an pour traiter 1 580 m³ de lisier (93,57 F par m³ de lisier traité).

Il est possible de donner une valeur financière au compost et de considérer qu'il est vendu. Dans ce cas, sa valeur serait de 100 francs la tonne. Sur 150 tonnes de support carboné, on estime qu'il reste 75 tonnes de compost. S'il est vendu 100 francs la tonne, le produit annuel équivaut à 7 500 F.

Bilan après vente du compost :

- coût total annuel : 147 833 F ;
- produit de la vente du compost : 7 500 F.

Soit un coût total annuel de 140 333 F (88,81 F par m³ de lisier traité).

LES COÛTS ENGENDRES PAR DES STATIONS COLLECTIVES DE TRAITEMENT

Les coûts de transport des lisiers de porc

Dans un premier temps, on a calculé les distances séparant les élevages de la station de traitement. Pour cela, 4 terrains potentiels, situés sur la zone de Casabois, ont été retenus pour l'implantation de la station collective de traitement.

En ce qui concerne les élevages porcins, la répartition géographique des truies n'était pas homogène. Il a fallu prendre en compte chaque distance. Pour des raisons évidentes de simplification, les élevages ont été regroupés en classes en fonction de cette distance au site ; 12 classes ont ainsi été définies. Les distances varient de 0 à 5 500 mètres avec des classes suivant un intervalle régulier de 500 mètres, à l'exception de la dernière classe qui se situe à 8 000 mètres.

L'ensemble des effluents porcins de ces élevages produit 17 000 m³ de lisier.

Le facteur le plus important dans les coûts de transport est le volume d'effluents transporté à chaque rotation entre l'élevage et la station de traitement. Le matériel utilisé avec ce type de matière, c'est la

citerne. Le matériel le plus approprié dans notre cas¹³ est le tracteur avec une tonne à lisier. Plusieurs simulations ont été réalisées en fonction de la capacité de la tonne à lisier.

La capacité de la tonne à lisier varie de 6 à 18 m³ avec un intervalle de 2 m³. Une tonne à lisier de taille standard correspond à 6 m³. Les autres volumes sont destinés à des élevages nettement plus gros, mais comme il s'agit de transporter des volumes importants de lisier, on a opté de préférence pour de telles tonnes à lisier. En revanche, 18 m³ est le maximum utilisable sur la zone en raison de la topographie.

On suppose i) que le tracteur a une vitesse de 8 km/h et consomme de 10 litres/h de carburant ii) que pour chaque manipulation de chargement et de déchargement de la tonne à lisier, il faut 30 minutes (disposition du tracteur et de la tonne en fonction de la fosse à lisier, raccordement des tuyaux pour le transfert, etc.).

Formule : $\text{coût du carburant} = \text{nb heures d'utilisation du tracteur} * \text{nb litres de gasoil consommé par heure} * \text{prix d'un litre de gasoil}$.

Une fois fixé le volume de lisier transporté à chaque rotation, nous avons calculé le nombre de rotations nécessaires pour évacuer le lisier de l'élevage à la station de traitement puis la distance à parcourir chaque année et enfin, le nombre total de manutentions. Ces manutentions correspondent aux mouvements réalisés par le tracteur et la tonne à lisier pour se positionner et charger le lisier dans la tonne.

Formules :

$\text{nb rotations annuelles} = (\text{qté lisier annuelle}) * (\text{capacité de la tonne à lisier})^{-1}$

$\text{Km / an} = \text{distance moyenne de chaque classe} * \text{nb rotations annuelles}$

$\text{nb manutentions} = \text{nb rotations annuelles} * 2$

Afin de définir la capacité de transport de la tonne à lisier à utiliser pour une logistique optimale, nous avons récapitulé, sur un graphique, les différents coûts de transport exprimés en fonction des capacités de transport (figure 1).

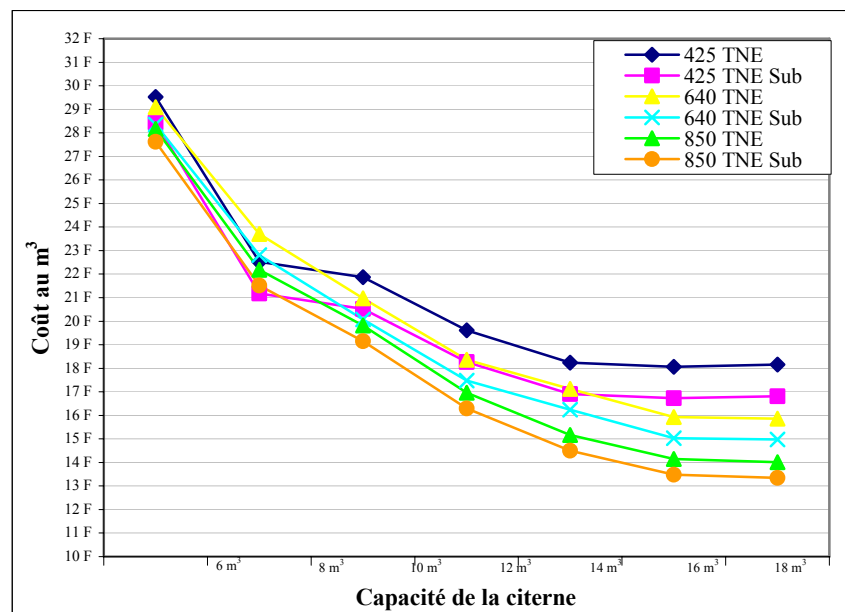


Figure 1. Coûts unitaires annuels de transport du lisier de l'élevage vers la station de traitement selon la capacité de la tonne à lisier et le dimensionnement de la station.

La figure 1 indique que le coût de transport du lisier varie considérablement en fonction du volume transporté à chaque rotation et en fonction de la dimension de la station.

Le coût/m³ varie du simple au double selon les hypothèses retenues : de 13,34 F pour une station de 850 TNE avec subventions utilisant une tonne à lisier de 18m³ à 29,53 F pour une station de 425 TNE utilisant une tonne à lisier de 6m³.

13. La géographie de la zone étudiée n'est pas propice à des engins très volumineux et nécessitant beaucoup d'espace pour manœuvrer.

La capacité de la tonne à lisier permet de réduire de façon très significative ce coût. Il diminue de 38,5 à 51,7 % selon le dimensionnement de la station. Celui-ci permet une réduction moins importante mais non négligeable pour certaines capacités de tonne à lisier.

Les facteurs « dimensionnement de la station » et « volume transporté par rotation » sont des éléments clés du coût de transport du lisier de l'élevage à la station de traitement.

Les coûts de transport des supports carbonés

Les supports carbonés disponibles pour le compostage sont la paille de canne, la bagasse, les copeaux de bois et les litières de volailles.

La paille de canne est peu disponible à la Réunion. Les planteurs ont pour habitude de la laisser au champ, assurant un apport de matière organique au sol. Par ailleurs, lorsqu'elle est vendue, elle n'est pas bon marché (500 F/t). Les seules simulations effectuées avec de la paille de canne ont été pour le procédé Agrifiltre qui ne fonctionne qu'avec ce support carboné.

Les copeaux de bois sont encore plus onéreux que la paille de canne (700 F/t). La bagasse n'a pas été retenue pour l'ensemble des procédés pour des raisons de très faible disponibilité. Les supports carbonés retenus sont donc la litière de volaille pour sa disponibilité sur la zone et la paille de canne pour le procédé de traitement Agrifiltre uniquement.

A la Réunion, on ne dispose que de la paille de canne à sucre. Il faut donc acheminer ce support de la même façon que sur la plate-forme de compostage du petit groupement d'éleveurs décrit plus haut, c'est-à-dire par camion dont le poids total, charge comprise, ne dépasse pas 19 tonnes avec un volume de 20 m³.

Le coût de transport de la bagasse de l'usine sucrière à Grand Ilet est de 1 100 F pour 4 tonnes. La densité de la bagasse est de 200 kg/m³. La densité de la paille de canne étant de 150 kg/m³, on peut donc acheminer par voyage 3,3 tonnes de paille de canne. Dans les deux cas, il faut vérifier la disponibilité des produits.

Les quantités nécessaires et coûts selon le dimensionnement de la station de traitement et le type de support carboné sont donnés dans les tableaux I et II.

Tableau I. Quantités de paille de canne nécessaires pour le procédé Agrifiltre.

Taille station	Quantité	Coût paille
850 TNE	247 t	82 333 F
640 TNE	186 t	62 000 F
425 TNE	123 t	41 000 F

Tableau II. Coût de paille de canne au m³ de lisier traité.

Taille station	Paille
850 TNE	4,84 F
640 TNE	4,84 F
425 TNE	4,82 F

Les effluents de volailles étant équitablement répartis sur la zone, on a déterminé une distance moyenne de 3 000 mètres entre chaque élevage et le site de traitement. La production annuelle d'effluents de volailles de la zone d'étude a été estimée à 5 700 tonnes pour 48 éleveurs d'après la base de données des élevages du CIRAD. Il y a lieu de vérifier ces données.

Dans la mesure où nous n'avons pas d'inventaire exact des élevages de volaille, ni le calendrier des mises en place des animaux, nous considérons une production linéaire des fumiers au cours de l'année.

Après enquête auprès des revendeurs de matériels agricoles, nous avons opté, pour le transport des fumiers, pour une remorque monocoque avec essieu suiveur tractée par un tracteur. Plusieurs capacités de coques ont été proposées : 15 m³ (6 tonnes), 17 m³ (6,8 tonnes), 19 m³ (7,6 tonnes),

23 m³ (9,2 tonnes), des volumes plus importants de transport étant impossibles toujours en raison de la topographie de la zone.

Nous avons réalisé une simulation de coût de transport pour chaque capacité avec l'hypothèse que la coque était pleine à chaque rotation. Le choix de la capacité de transport ne pouvant se faire qu'après avoir l'inventaire exact des élevages (dimension de bâtiment, localisation géographique, calendrier de mise en place des animaux).

Le tracteur, muni de la remorque monocoque, avance à une vitesse de 8 km/h. Les élevages étant considérés à 3 km en moyenne de la station de traitement, les rotations sont donc de 45 minutes chacune. Un calcul de cohérence a été effectué afin de vérifier que le tracteur qui est utilisé pour le transport du lisier pouvait être également utilisé pour le transport du fumier.

Pour la récupération des fumiers dans le bâtiment, il faut un petit appareil de manutention type Bobcat et 2 personnes. Ce Bobcat est facilement transportable à l'aide d'un véhicule 4x4. Il faut compter pour le Bobcat et sa remorque un investissement initial de 250 000 F. Le temps pour vider un bâtiment de sa litière est évalué à 1 heure par tonne de fumier. Le 4x4 utile pour le transport du Bobcat est pris en compte dans les investissements nécessaires pour la station de traitement. Le bobcat peut également être attelé derrière le tracteur ou sur la remorque pour de petites distances.

L'amortissement et l'assurance du tracteur sont entièrement pris en compte par le transport du lisier. Le transport du fumier utilise 1/5 du temps du tracteur mais si nous changeons de support carboné, l'amortissement et l'assurance seront toujours de la même valeur. Donc nous considérons que c'est le transport du lisier qui doit supporter cette charge.

Les quantités de litières de volailles nécessaires dans les procédés simulés dans le logiciel Maccizut (Farinet *et al.*, 2002) sont données dans le tableau III.

Tableau III. Quantités de litières de volailles nécessaires (en tonnes).

Qté nécessaire	Bio Armor	Val'Epure	Ecoliz	Compostage
850 TNE	709	1 384	1492	5 762
640 TNE	534	1 042	1123	4 338
425 TNE	354	692	746	2 881

Pour le calcul des coûts fixes et variables de transport du support carboné, nous présentons ici le cas d'une remorque de capacité égale à 15m³. Pour une illustration détaillée des autres hypothèses, voir Tiratay (2001).

L'achat du matériel, l'amortissement et les assurances sont fixes quel que soit le procédé de traitement. Pour le reste, c'est la quantité de litière nécessaire pour chaque procédé qui détermine les coûts de carburant, d'entretien et de salaires. Les charges fixes sont consignées dans le tableau IV.

Tableau IV. Charges fixes du transport des litières de volailles par une remorque de 15m³.

		Non subventionné	Subventionné
Investissement	Remorque	115 000 F	115 000 F
	Bobcat	250 000 F	250 000 F
	Sub remorque	0 F	-40 000 F
	Sub bobcat	0 F	-40 000 F
Total		365 000 F	285 000 F
Amortissement		52 143 F	40 714 F
Assurance		5 475 F	4 275 F
Total		422 618 F	329 989 F

Les formules suivantes ont été utilisées dans le calcul des charges variables mensuelles.

$nb \text{ rotations} = \frac{qté \text{ support carbonné}}{capacité \text{ de la remorque}}$

$\text{temps transport} = \text{nb rotations} * \text{temps d'une rotation}$

$\text{temps curage} = \text{qté support carbonné} * 1 \text{ heure par tonne}$

$\text{temps total} = \text{temps transport} + \text{temps curage}$

Pour le calcul du nombre de salariés nous avons utilisé la formule suivante :

$\text{nb salariés} = \text{temps total} * 12 / \text{nb heures annuelles par salarié}$

Tableau V. Charges variables du transport des litières de volailles par une remorque de 15m³ pour le procédé Bio Armor par m³ de lisier traité.

	850 TNE	640 TNE	425 TNE
Carburant	2 880	2 304	1 440
Entretien	432	346	216
Salaires	110 006	83 161	54 930

<i>Coût total</i>	<i>170 936</i>	<i>143 429</i>	<i>114 204</i>
au m ³ de lisier traité	10,06	11,21	13,44
à la tonne de litière	241,09	268,59	322,61
<i>Avec subvention</i>	<i>158 307</i>	<i>130 800</i>	<i>101 575</i>
au m ³ de lisier traité	9,31	10,22	11,95
à la tonne de litière	223,28	244,94	286,93

Les procédés présentés sont ceux qui sont intégrés dans le logiciel Macsizut. L'ensemble des procédés permet le compostage des résidus (boues ou refus).

On peut observer des différences plus que significatives entre les différents procédés. Deux points sont à prendre en compte pour le choix du procédé :

1. les procédés Agrifiltre et Ecoliz ne permettent pas de traiter les effluents de volailles ;
2. la quantité de compost produite selon les procédés n'est pas la même (voir paragraphe suivant).

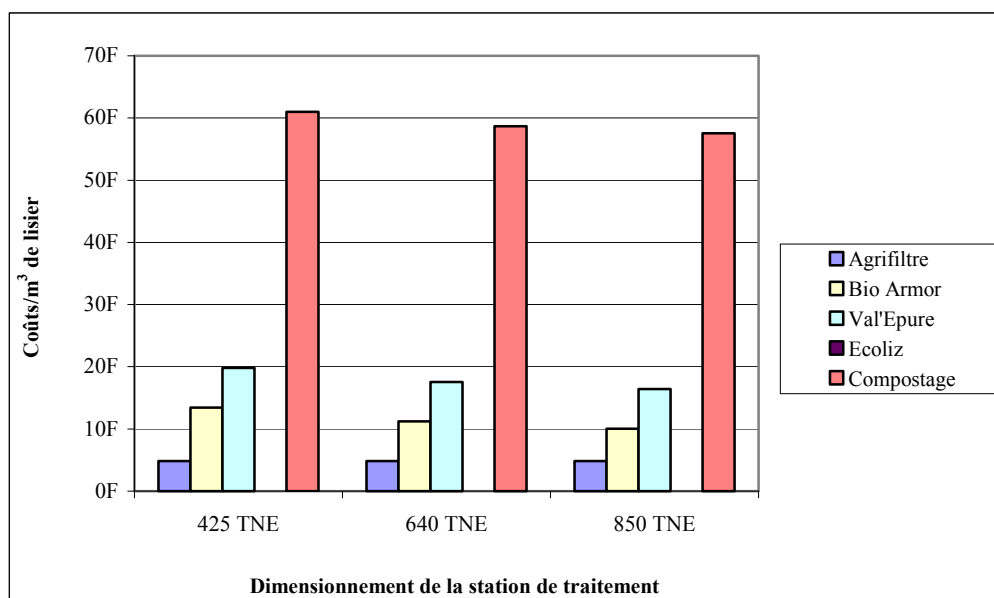


Figure 2. Coûts unitaires annuels de transport du support carbonné en fonction du dimensionnement de la station de traitement et du procédé choisi.

Les coûts de la station de traitement

Le logiciel Macsizut permet de simuler les coûts d'investissement et de fonctionnement de plusieurs procédés. Ces coûts sont en prix métropolitain. Il a fallu les adapter au marché réunionnais. Les coûts déterminés par le rapport réalisé par le bureau d'études Cyathea (1999a) ont été conservés. Le rapport produit par la FRCA a permis de compléter les valeurs locales manquantes. D'autres modifications ont été apportées dans le logiciel pour le matériel importé à la Réunion. Un surcoût de 20 % a majoré les équipements importés.

Les coûts indiqués ci-dessous n'ont bénéficié d'aucune aide extérieure ni pour l'investissement, ni pour le fonctionnement.

- Le compostage du procédé Agrifiltre a été simulé sur paille de canne à sucre, avec aération et sans aération.
- Le compostage du procédé Ecoliz a été simulé sans support carboné, avec aération et sans aération.
- Les autres procédés ont été simulés avec compostage sur de la litière de volaille.

Les coûts d'investissement retenus ont été déterminés par le rapport Cyathea (1999b). Les montants hors taxes suivants ont été pris en compte pour les calculs :

- coûts de terrassement : 120 F/m³ ;
- prix du béton : 4 000 F/m³ ;
- prix d'une structure métallique : 1 000 F/ m² ;
- prix d'une géomembrane de lagunage : 160 F/ m² hors terrassement ;
- achat du terrain : 50 000 F ;
- dépenses de chantier : 230 000 F ;
- dépenses de maîtrise d'œuvre : 150 000 F ;
- dépenses d'équipement électrique : 1 million de francs ;
- véhicule pour le déplacement du Bobcat et des ouvriers pour le curage des bâtiments : 200 000 F (4x4).

A titre d'exemple, nous fournissons ci-après (tableau VI) les coûts d'investissement et le coût annuel d'une station de 850 TNE. Pour les détails relatifs aux stations de 640 TNE et de 425 TNE, voir Tiratay (2001).

Tableau VI. Coûts d'investissement d'une station pour 850 TNE.

En francs Ht.	Bio Armor	Val'Epure	Ecoliz aéré	Ecoliz non aéré	Agrifiltre aéré	Agrifiltre non aéré	Compostage
Maîtrise d'œuvre				150 000			
Achat de foncier				50 000			
Mise en place chantier				230 000			
Electricité				1 000 000			
Achat véhicule				200 000			
Terrassements	954 900	1 503 000	718 200	1 521 000	1 032 300	1 007 100	2 088 000
Génie civil	4 106 940	7 126 380	1 988 903	2 080 661	3 735 945	3 431 901	11 600 000
Equipement station	1 419 600	1 012 000	1 889 063	1 517 063	2 857 830	2 485 830	0
Total tranche	8 111 440	11 271 380	6 226 166	5 318 724	9 256 075	7 124 831	15 318 000

Options d'équipement	103 800	55 800	18 000	18 000	18 000	18 000	0
----------------------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	---

Sources : CIRAD, Cyathea, Urcoopa.

Les coûts exprimés ci-dessous représentent les coûts engendrés par la station uniquement. Ces données proviennent de simulations du logiciel Macsizut.

Le coût de fonctionnement de la station comprend :

- le coût d'énergie ;
- le coût de maintenance des installations ;
- le coût des analyses estimé à 10 000 F.

Le coût de fonctionnement de la compostière comprend :

- le coût du support carboné (achat et/ou acheminement à la station) ;
- le coût de l'heure de travail estimé à 250 F.

Le coût des intérêts sur la station complète comprend :

- l'intérêt annuel moyen sur les équipements ;
- l'intérêt annuel moyen sur le génie civil.

Le taux d'intérêt considéré est de 6 %. Aucune aide financière type subvention n'est prise en compte.

L'amortissement de la station comprend :

- l'amortissement sur les équipements ;
- l'amortissement sur le génie civil.

Les intérêts et l'amortissement pour les équipements sont calculés sur 7 ans et les intérêts et l'amortissement pour le génie civil sont calculés sur 15 ans.

Tableau VII. Coût annuel d'une station pour 850 TNE.

En francs par an	Bio Armor	Val'Epure	Ecoliz aéré	Ecoliz non aéré	Agrifiltre aéré	Agrifiltre non aéré	Compostage
Fonctionnement de la station	341 346	313 226	655 076	522 875	366 709	230 550	126 000
Fonctionnement compostière	126 375	223 722	161 145	161 145	97 580	97 580	840 224
Intérêts sur la station complète	21 238	26 421	18 173	18 368	26 447	24 194	27 676
Amortissement de la station	707 942	880 692	605 768	612 263	881 573	806 481	922 533
Fonctionnement du véhicule				50 000			
Amortissement du véhicule				28 571			
Total tranche	1 275 472	1 522 632	1 518 733	1 393 222	1 450 880	1 237 376	1 995 004

Sources : CIRAD, Cyathea, Urcoopa.

BILAN ECONOMIQUE DU TRAITEMENT DES EFFLUENTS D'ELEVAGE A GRAND ILET PAR UNE STATION COLLECTIVE

Les coûts calculés pour les différents postes de gestion collective selon les hypothèses de taille émises et les technologies étudiées, ainsi que les calculs sur les produits réalisables de la vente du compost, permettent de formuler des bilans économiques pour une station collective à Grand Ilet et de comparer les coûts annuels/m³ d'effluents avec les coûts relatifs à la gestion individuelle du lisier. La figure 3 illustre le coût unitaire de traitement du lisier après vente du compost pour une station de 850 TNE.

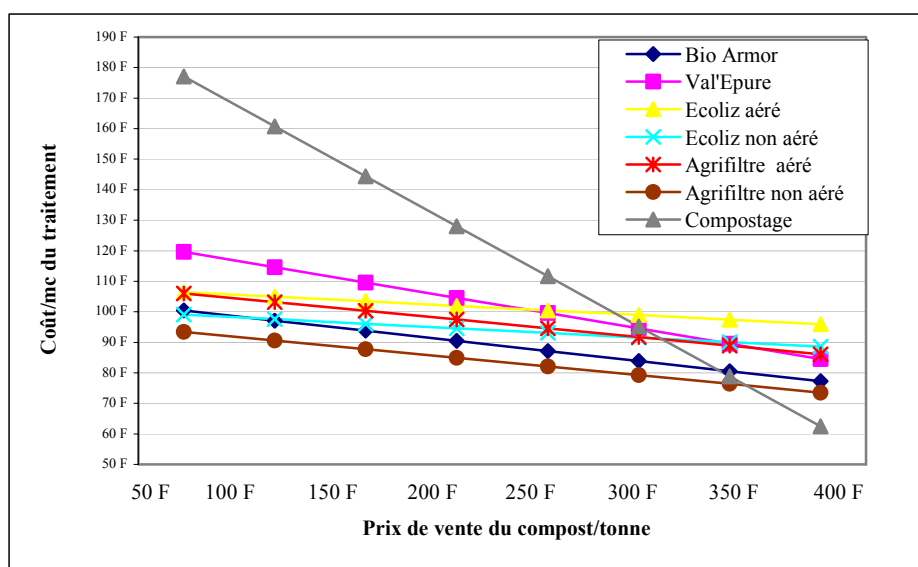


Figure 3. Coût unitaire annuel de traitement du lisier après vente du compost (station de 850 TNE).

CONCLUSION SUR LES COÛTS DE GESTION COLLECTIVE

L'évaluation des coûts de gestion collective sur la zone de Grand Ilet a permis d'identifier plusieurs facteurs déterminant dans le choix du mode de gestion collective des effluents d'élevage sur la zone :

- le coût de traitement des effluents d'élevage est un élément extrêmement important mais pas forcément majeur ;
- le prix de vente du compost est également un élément extrêmement important puisqu'il joue directement sur le coût de traitement.

Les facteurs suivants peuvent être également déterminants selon des critères sociaux et politiques :

- la volonté de favoriser l'emploi ;
- la volonté de traiter les effluents avicoles ;
- les volumes d'effluents restant en fin de procédé ;
- la garantie d'un traitement fiable des effluents : en effet, les traitements collectifs actuellement réalisés en petits groupes d'éleveurs ne permettent pas de garantir la fiabilité du traitement alors que dans le cas d'une station collective de traitement de type Installation classée pour la protection de l'environnement (Icpe), il y a obligation de suivre le devenir des différents éléments du traitement.

Mais aujourd'hui, la problématique reste entière à Grand Ilet car un certain nombre de questions restent sans réponse. Qui peut assumer l'investissement d'une station collective de traitement ? Qui peut assurer le fonctionnement d'une station collective et comment couvrir les coûts de fonctionnement ? A qui incombe la responsabilité des pollutions liées aux élevages ?

Nous aborderons ces questions aux chapitres 4 et 5.

LES COÛTS ENGENDRES PAR L'ÉVACUATION DES EFFLUENTS VERS LA ZONE CÔTIÈRE

Le manque d'informations concernant le transport liquide (lisier) sur une zone telle que Grand Ilet ne permet pas de déterminer le coût exact d'un transfert de lisier vers la zone côtière. Néanmoins, nous avons extrapolé des données d'après certains coûts de transport.

Le transport de la bagasse, comme on l'a vu, coûte 1 100 francs pour 4 tonnes, soit 275 francs la tonne. Il s'agit d'un camion benne.

Après enquête auprès de transporteurs d'aliment pour bétail, le coût d'un camion citerne serait de l'ordre de 3 000 francs pour une telle zone et pour 9 tonnes de chargement, soit 333 francs par tonne.

On peut retenir la moyenne de ces 2 coûts soit 304 francs la tonne (ou m³) pour évacuer le lisier vers la zone côtière. Néanmoins, il y a de forte probabilité pour que le coût d'un tel transport soit plus proche de celui effectué en citerne.

On peut comparer les coûts d'une telle fertilisation par rapport à une fertilisation minérale. Le prix (livrée parcelle) d'une tonne d'engrais minéral 15/12/24 est de 2 430 F, celui du 18/7/30 est de 2 560 F. En prenant une valeur de 5/2/5 de lisier, il faut 30 m³ de lisier pour remplacer l'azote du 15/12/24 et 35 m³ pour remplacer l'azote du 18/7/30, soit un coût de 9 125 F et 10 646 F. De plus, dans les 2 cas, il y a un déséquilibre en phosphore et dans le cas du 15/12/24, un déséquilibre aussi en potasse. Même s'il faut ajouter le coût de l'épandage de l'engrais minéral, le coût final sera supérieur à ce transfert.

Ce type de solution pour l'évacuation des lisiers de Grand Ilet ne présente pas d'intérêt pour l'agriculteur. Même si le lisier est épandu à la charge de l'éleveur, l'agriculteur devra fertiliser en phosphore et en potasse, ce qui risque de lui coûter plus cher car ces engrais spécifiques sont plus chers que l'engrais classique 15/12/24.

De plus, il est quasiment improbable que l'éleveur soit prêt à supporter un tel coût au m³ pour le traitement du lisier.

3 Les fonctions de coût annuel pour les différentes typologies d'agriculteurs et selon la stratégie de gestion choisie

Les calculs fournis précédemment permettent de construire les fonctions de coût annuel relatives aux différentes stratégies de gestion des effluents d'élevage à Grand-Ilet.

Les fonctions de coûts par type d'éleveur et par étape de gestion (nettoyage, stockage, épandage) sont reportées par la suite, avec les coefficients spécifiques déterminés grâce aux enquêtes de terrain. Les producteurs de canne aussi ont été insérés dans le cadre synoptique car leurs coûts seront importants lors du choix d'accepter ou non les effluents provenant des éleveurs, si ces derniers décident de transporter l'excédent azoté dans la zone côtière. Un coefficient de conversion permet d'utiliser les mêmes fonctions de coût analysées pour les éleveurs et les producteurs de canne. En effet, si le besoin en azote de la canne est de 150 kg/ha, puisqu'une TNE produit 78,8 kg N/an (Rainault et Paillat, 1999), 1 ha pourra absorber l'équivalent de 1,90 TNE/an.

Les coûts de transport des effluents sont également représentés afin de pouvoir prendre en compte les stratégies de transport individuel vers la zone côtière. Pour les détails de ces coûts, voir Caisso (2001) et Tiratay (2001). Ces fonctions donnent les coûts annuels en F/m³ d'effluent. Pour avoir la valeur en F/kg N, il faut diviser par 4.

Les fonctions de coût unitaire annuel relatives aux différentes stratégies de gestion individuelles sont les suivantes.

$$\text{Nettoyage} = aX^{-b}$$

$$\text{Stockage} = cX^{-d}$$

$$\text{Epandage pour type I} = e$$

$$\text{Coûts fixes d'épandage pour types II et III, ainsi que pour les producteurs de canne} = fX^{-g}$$

$$\text{Coûts variables d'épandage pour types II et III, ainsi que pour les producteurs de canne} = hX^{-i}$$

où:

$$a = 506,4$$

$$b = 0,86$$

$$c(\text{éleveur}) = 73,21; \quad c(\text{producteur de canne}) = 102,68$$

$$d(\text{éleveur}) = 0,46; \quad d(\text{producteur de canne}) = 0,35$$

$$e = \begin{cases} e_1 = 6,7 \\ e_2 = 20 \\ e_3 = 40 \end{cases}$$

$$f = 333,9$$

$$g = 0,69$$

$$h = 335,1$$

$$i = 0,95$$

$$X = \text{TNE}$$

Ces fonctions de coûts unitaires sont essentielles pour construire les fonctions de coûts annuels par type d'éleveur ou par producteur de canne, selon la stratégie de gestion des effluents choisie.

Pour les éleveurs, les trois stratégies sont :

- épandre le lisier à Grand Ilet ;
- transporter l'excédent vers la zone côtière ;

– profiter d'une station de traitement collectif pour traiter l'excédent (les cas de la station de compostage et du système Bio Armor sont illustrés ici).

Les formules qui suivent représentent les coûts annuels pour chaque stratégie et par type d'éleveur.

Les fonctions de coût annuel pour chaque type de producteur et par stratégie de gestion des effluents sont données avec :

Ca ; Cb ; Cc = Coût total annuel de traitement pour l'éleveur, selon la stratégie choisie (F/an) ;

Cfa ; Cfb ; Cfc = Composante de la fonction de coût commune aux trois types d'éleveur pour une stratégie donnée ;

p = Matière organique (Mo) produite annuellement par l'éleveur (kgN/an) ;

Δp = Excédent de Mo (kgN/an) ; $\Delta p = p - p^* \cdot Sp$, où p^* =Norme d'épandage (KgN/ha) et Sp =surface de la ferme d'élevage ;

p_1 =Mo transportée hors Grand Ilet, où $0 < p_1 < \Delta p$ (kgN/an) ;

τ_p = redevance unitaire (F/kgN) ; elle s'applique à Δp ;

Cl = Coût unitaire de nettoyage (F/kgN) ;

St = Coût unitaire de stockage (F/kgN) ;

Sp_f = Coût unitaire fixe d'épandage (F/kgN) ;

Sp_v = Coût unitaire variable d'épandage (F/kgN) ;

C_{coll} = Coût unitaire pour l'utilisation d'une station collective de traitement (F/KgN) ;

TC_v = Coût unitaire variable de transport (0,345/Km/kgN) ;

d = Distance à parcourir pour le transport de lisier vers la zone côtière (km) ;

S = Partie du coût de stockage non subventionnée, avec $0 < S < 1$;

T = Taux d'utilisation du matériel d'épandage, avec $0 < T < 1$;

K = Coût pour l'utilisation des produits anti-odeur (1,55 F/kgN) ;

e = Tarif forfaitaire payé par l'éleveur de type I à l'éleveur de type III pour l'épandage, avec $e_1=1,675$; $e_2= 5$; $e_3=10$ (F/kgN) ;

TT = tarif forfaitaire pour le transport : proportion de TC_v que l'éleveur de type III fait payer en plus de TC_v à l'éleveur de type I pour le transport de ses effluents, avec $0 < TT < 1$.

Les formules spécifiées par la suite sont construites pour leur utilisation dans un modèle multi-agents (voir chapitre 5). Les quantités d'effluents que l'éleveur de type III traite en plus de sa matière organique sont donc exprimées comme la somme de la quantité de p et de p_1 que les éleveurs de

type I décident de faire épandre ou transporter par l'éleveur de type III $= \sum_{i=0}^n (p_i, p_{1i})$. Dans le

chapitre 4 cette formulation est remplacée par un coefficient, qui selon les résultats des enquêtes fournis dans le chapitre 1 peut être estimé à 1,225.

- Epandage de toute la matière organique à Grand Ilet (stratégie 1)

Type I

$$Ca = \tau_p \cdot \Delta p + Cl \cdot p + (St \cdot S + K) p + e \cdot p = Cfa + e \cdot p$$

Type II

$$Ca = Cfa + T \cdot Sp_f \cdot p + Sp_v \cdot p$$

Type III

$$Ca = Cfa + T \cdot Sp_f \cdot p + Sp_v \cdot (p + \sum_{i=0}^n p_i) - e \sum_{i=0}^n (p_i - p_{1i})$$

- Transport de p_1 vers la zone côtière ($0 \leq p_1 \leq \Delta p$) (stratégie 2)¹⁴

Type I

$$Cb = \tau_p (\Delta p - p_1) + Cl.p + (St.S + K)p + e(p - p_1) + TC_v.d.p_1(1 + TT) = Cfb + e(p - p_1) + TC_v.d.p_1(1 + TT)$$

Type II

$$Cb = Cfb + T.Sp_f.p + Sp_v(p - p_1) + TC_v.d.p_1$$

Type III

$$Cb = Cfb + T.Sp_f.p + Sp_v[(p - p_1) + \sum_{i=0}^n (p_i - p_{1i})] - e \sum_{i=0}^n (p_i - p_{1i}) + TC_v.d(p_1 + \sum_{i=0}^n p_{1i}) - (TC_v.d \sum_{i=0}^n p_{1i})(1 + TT)$$

- Transport de l'excédent de Mo vers une station collective de traitement (stratégie 3) : $p_1 = \Delta p$

Type I

$$Cc = Cl.p + (St.S + K)p + e(p - p_1) + C_{coll} p_1 = Cfc + e(p - p_1) + C_{coll} p_1$$

Type II

$$Cc = Cfc + T.Sp_f.p + Sp_v(p - p_1) + C_{coll} p_1$$

Type III

$$Cc = Cfc + T.Sp_f.p + Sp_v[(p - p_1) + \sum_{i=0}^n (p_i - p_{1i})] - e \sum_{i=0}^n (p_i - p_{1i}) + C_{coll} p_1$$

Le coût annuel pour l'éleveur qui décide de faire traiter ses effluents excédentaires dans une station collective (C_{coll}) est représenté par le coût en F/kgN de la station multiplié par p_1 . Le cas envisagé étant un système où l'éleveur est complètement déchargé du devenir de son effluent, le coût annuel de gestion collective des effluents se traduit en un tarif que l'éleveur paie à celui qui est en charge de la gestion de la station collective. Ce tarif, qui doit au moins couvrir les coûts d'investissement et de fonctionnement de la station, est exprimé en F/kg N. Le tableau VIII (Tiratay, 2001) fournit les coûts en F/m³ d'effluent traité pour deux typologies de station collective, Bio Armor et une station de compostage. Ces coûts correspondent au coût net du produit de la vente du compost obtenu (prix du compost reporté dans le tableau). Nous avons fait ici l'hypothèse que la station collective a été dimensionnée pour traiter les effluents de 850 TNE, comme si tous les éleveurs de la zone optaient, pour le transfert de leurs excédents de Mo, pour cette solution.

14. Le transport vers la zone côtière a été ici considéré comme effectué par les éleveurs qui possèdent un tracteur et une tonne. Ils supportent donc les coûts variables de cette opération, les coûts d'investissement étant compris dans Sp_f . Une autre possibilité serait de considérer que le transport des effluents en excès est effectué par un prestataire de services. Dans ce cas, l'éleveur paie un tarif forfaitaire au prestataire, qui a été estimé en 83,25 F/kg N (Tiratay, 2001). Cette valeur, bien que très élevée, réduit fortement les coûts de transport pour les éleveurs en raison de la capacité limitée des tonnes à leur disposition et du conséquent nombre élevé de voyages qu'ils sont obligés d'effectuer pour évacuer Δp . Dans les simulations du chapitre 5, la possibilité de faire transporter les effluents vers la zone côtière par un tiers est prise en compte.

Tableau VIII. Coût unitaire (F/m³) pour une station collective de traitement de capacité = 850 TNE : coût net du produit de la vente du compost.

Prix compost (F/T)	Bio Armor	Station de compostage
50	100	177
100	97	160
150	93	144
200	90	128
250	87	111
300	83	95
350	80	78
400	77	62

Les formules qui suivent expriment les coûts annuels de chaque stratégie pour les producteurs de canne de la zone côtière.

Les éléments de notation suivants ont été rajoutés à ceux des formules précédentes :

α = besoin en azote de la canne (kg/ha ; ici $\alpha=150$) ;

S_s = surface à canne du producteur (ha ; ici $20 < S_p < 40$) ;

St_{sug} = coût unitaire de stockage pour le producteur de canne (F/kgN)¹⁵ ;

Sp_{vmin} = coût unitaire variable d'épandage pour les fertilisants minéraux¹⁶ ;

f = prix des fertilisants minéraux (F/kg N ; ici $f=10$).

- Epandage de fertilisant minéral¹⁷

$$C_{min} = \alpha \cdot S_s (T \cdot Sp_f + Sp_{vmin} + f + St_{sug})$$

- Epandage des effluents provenant des élevages de porc

$$C_{org} = \alpha \cdot S_s (T \cdot Sp_f + Sp_v + St_{sug} \cdot S + K)$$

- Epandage du lisier provenant des élevages de porc (p_1) et de fertilisant minéral¹⁸

$$C_{both} = T \cdot Sp_f \cdot \alpha \cdot S_s + (Sp_{vmin} + f)(\alpha \cdot S_s - p_1) + Sp_v \cdot p_1 + (St_{sug} \cdot S \cdot \alpha \cdot S_s) + K \cdot p_1$$

15. Ce coût ne correspond pas à St vu par les éleveurs de Grand Ilet car les fosses nécessaires pour accueillir les effluents qui seraient construites par les producteurs de canne ont une taille moyenne plus élevée que celles des éleveurs. Les fonctions indiquant le coût unitaire n'ont donc pas la même forme.

16. Ce coût (cf. Farolfi *et al.*, 2002) est indépendant de la quantité de fertilisant épandu (1,046 F/kgN). A cause de la concentration en azote beaucoup plus élevée pour les fertilisants minéraux que pour le lisier, cette valeur est beaucoup plus basse que celle qu'on obtient par la fonction Sp_v .

17. Le dernier terme de la fonction a raison d'exister seulement si le producteur a décidé au moins pour un an d'épandre du lisier. Il a donc investi dans les fosses. Au cas où il reviendrait à la stratégie d'épandre du fertilisant minéral, il ne payerait que les coûts fixes de stockage.

18. Cette stratégie n'est pas examinée dans les simulations des chapitres suivants.

4 Elaboration de scénarios de gestion des effluents

Les fonctions de coûts développées dans le chapitre précédent sont ici combinées dans un modèle qui permet de simuler les changements de coût annuel pour les trois types d'éleveurs et pour les producteurs de canne de la zone côtière selon la stratégie choisie et selon la valeur des paramètres introduits dans le modèle.

Ces paramètres concernent soit des mesures de politique environnementale (valeur de la redevance pollution, valeur de la norme d'épandage, etc.), soit des aspects techniques (taille de la tonne pour l'épandage ou pour le transport du lisier, etc.) ou encore économiques (coût des fertilisants minéraux, coût du compost, etc.) des opérations de gestion du lisier. Certains paramètres sont fixes dans le modèle, ici on fait varier les valeurs qui semblent particulièrement importantes pour orienter le choix des producteurs-pollueurs vers une stratégie plutôt qu'une autre.

Les fiches qui suivent (p. 36-41) présentent les outputs du modèle. A gauche de chaque fiche sont reportés les paramètres que l'on peut modifier dans les simulations (cf. termes employés pour les fonctions de coût dans le chapitre 3). A droite sont dessinées les courbes des coûts totaux annuels pour chaque type d'éleveurs (I, II et III), ainsi que celles du producteur de canne de la zone côtière. Les unités d'échelle des axes des graphiques sont les suivantes :

- F pour l'axe vertical ;
- TNE pour l'axe horizontal des trois premiers graphes ;
- ha pour l'axe horizontal du quatrième graphe.

Les courbes de coûts sont relatives aux 3 stratégies illustrées dans le chapitre 3 pour les éleveurs de Grand Ilet et aux stratégies 1 et 2 pour les producteurs de canne. Pour l'éleveur de type I, on donne aussi la courbe de coût relative au transport vers la zone côtière effectué par un prestataire de services externe au cirque de Salazie¹⁹.

Les valeurs de la courbe du coût annuel de la stratégie 2 (transport de l'excédent vers la zone côtière avec les moyens à disposition des éleveurs de Grand Ilet) pour les éleveurs de type I et II doivent être lus sur l'axe secondaire dans les scénarios 1 à 4.

Reprenant les termes utilisés à p. 32, les paramètres du scénario de base (p. 36) sont les suivants :

- $S_s = 3$ (ha) ;
- $p^* = 170$ (kg N/ha) ;
- $\tau_p = 0$ (F/kg N) ;
- $S_{TC_v} = 1$;
- $S = 1$ pour les éleveurs comme pour les producteurs de canne ;
- T pour les éleveurs = 0,4 (considérant qu'ils utilisent leur matériel pour l'épandage et pour le transport) ;
- T pour les producteurs de canne = 0,2 ;
- $K = 1,55$ (F/kg N) ;
- $e = 1,675$ (F/kg N) ;
- $TT = 0,03$;
- coût unitaire pour la technologie Bio-Armor = 25 (F/kg N) (correspondant à un prix de vente du compost de 50 F/t) ;
- coût unitaire pour la station de compostage = 44,3 (F/kg N) (correspondant à un prix de vente du compost de 50 F/t) ;
- $f = 10$ (F/kg N).

19. Cette stratégie, qui n'a pas été observée à Grand Ilet, a été introduite ici pour montrer la difficulté de son application en raison des coûts élevés qu'elle comporterait pour les éleveurs. Toutefois, pour des éleveurs devant transporter une quantité importante de lisier, elle serait économiquement plus intéressante que le transport effectué avec des moyens propres. Cela à cause du nombre très élevé de voyages rendus nécessaires par la capacité limitée des tonnes pouvant parcourir la route liant le cirque de Salazie à la zone côtière.

Scénario 1

e (F/KgN)

1.675

T (Use rate of spreading facilities)

Pig Farmers	Sugarcane Farmers
0.4	0.2

K (F/m3)

6.2

Ss (Spreadable surface)

3

tp (F/KgN)

0

p* (Norm of spreading: KgN/ha)

170

S (% of cost not subsidised)

Pig Farmers	Sugarcane Farmers
1	1

Capacity transp (KgN)

40

TT

0.03

Cost Bio Armor (F/KgN)

25

Cost Compost (F/KgN)

44.3

J = coefficient transport Type III = (J.p1)

1.225

H = coefficient spreading Type III = (H.p)

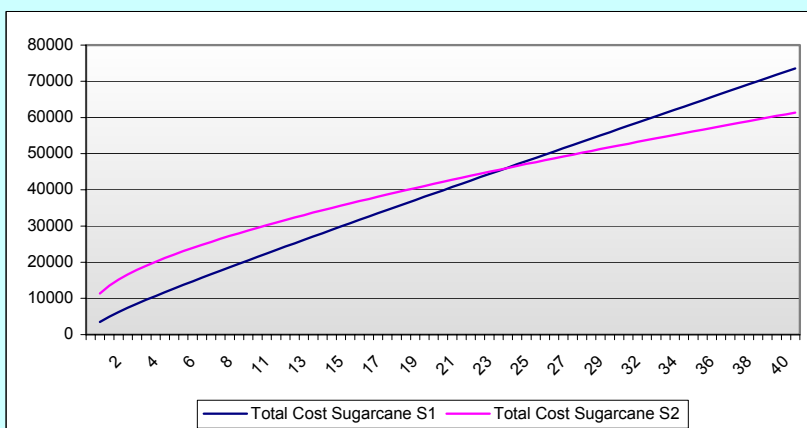
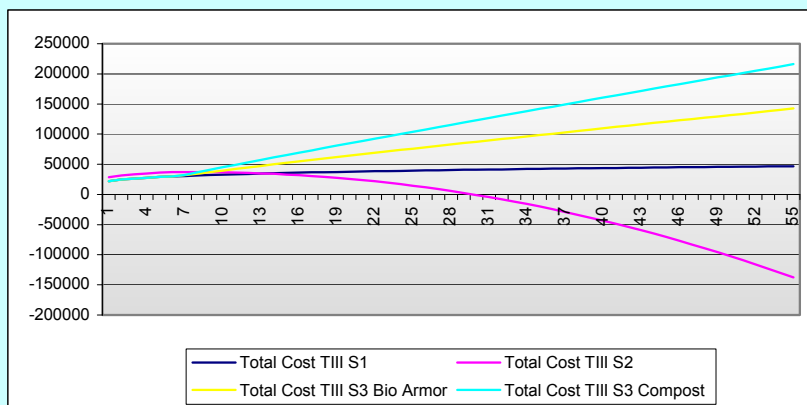
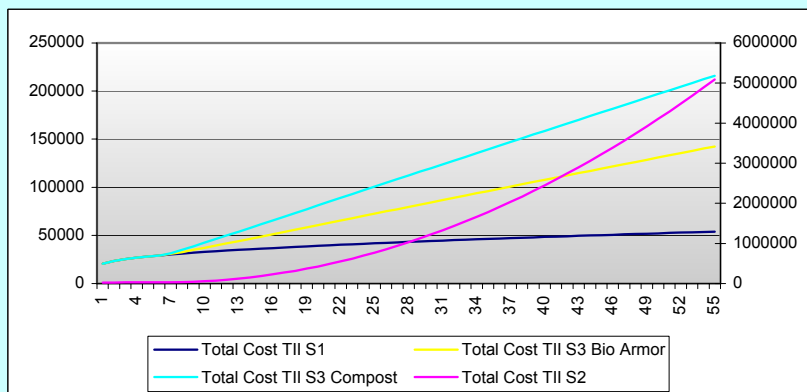
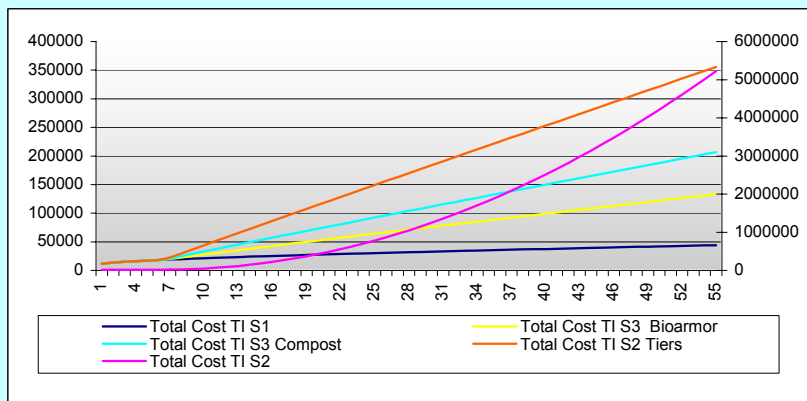
1.225

S TCv (% of cost not subsidised)

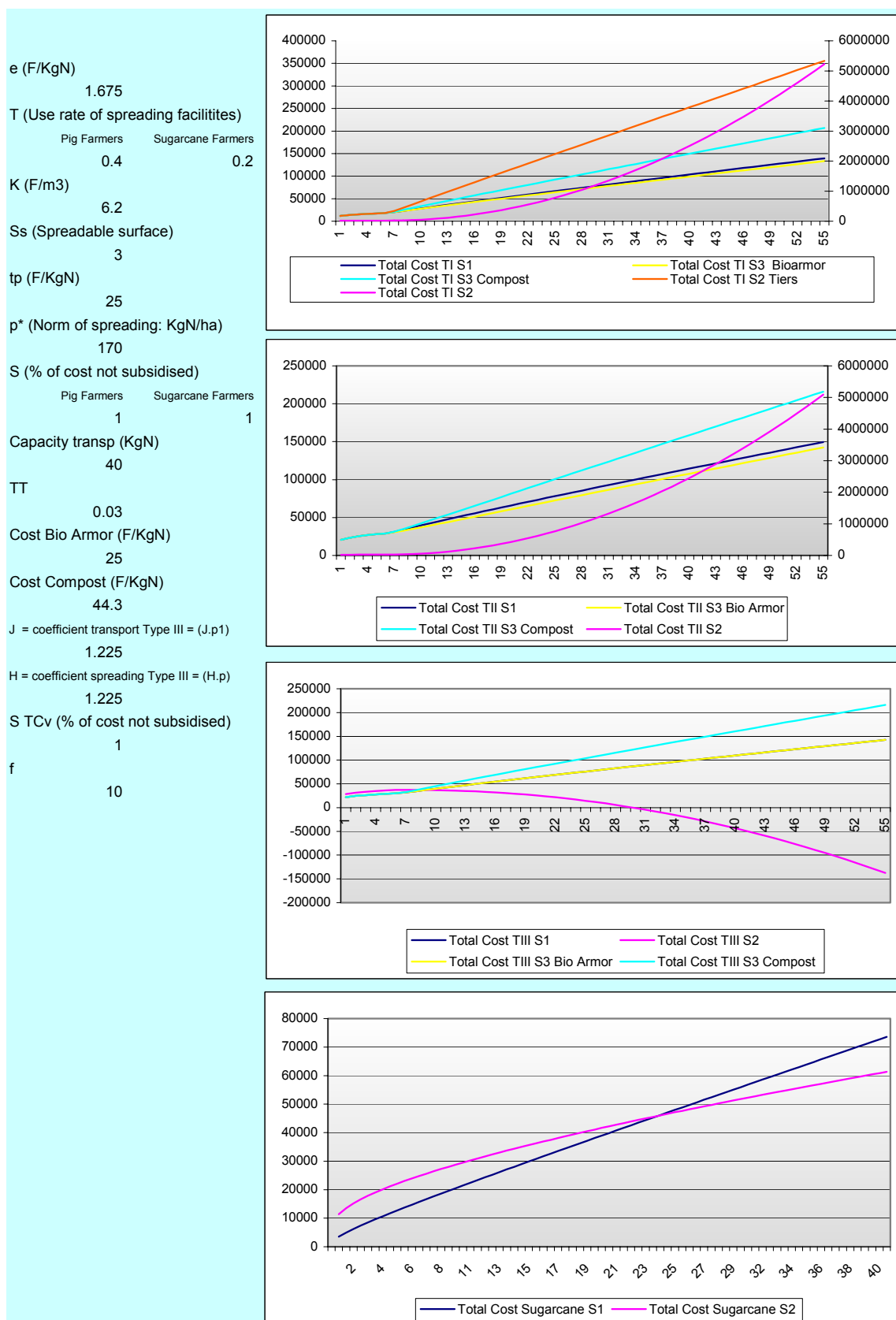
1

f

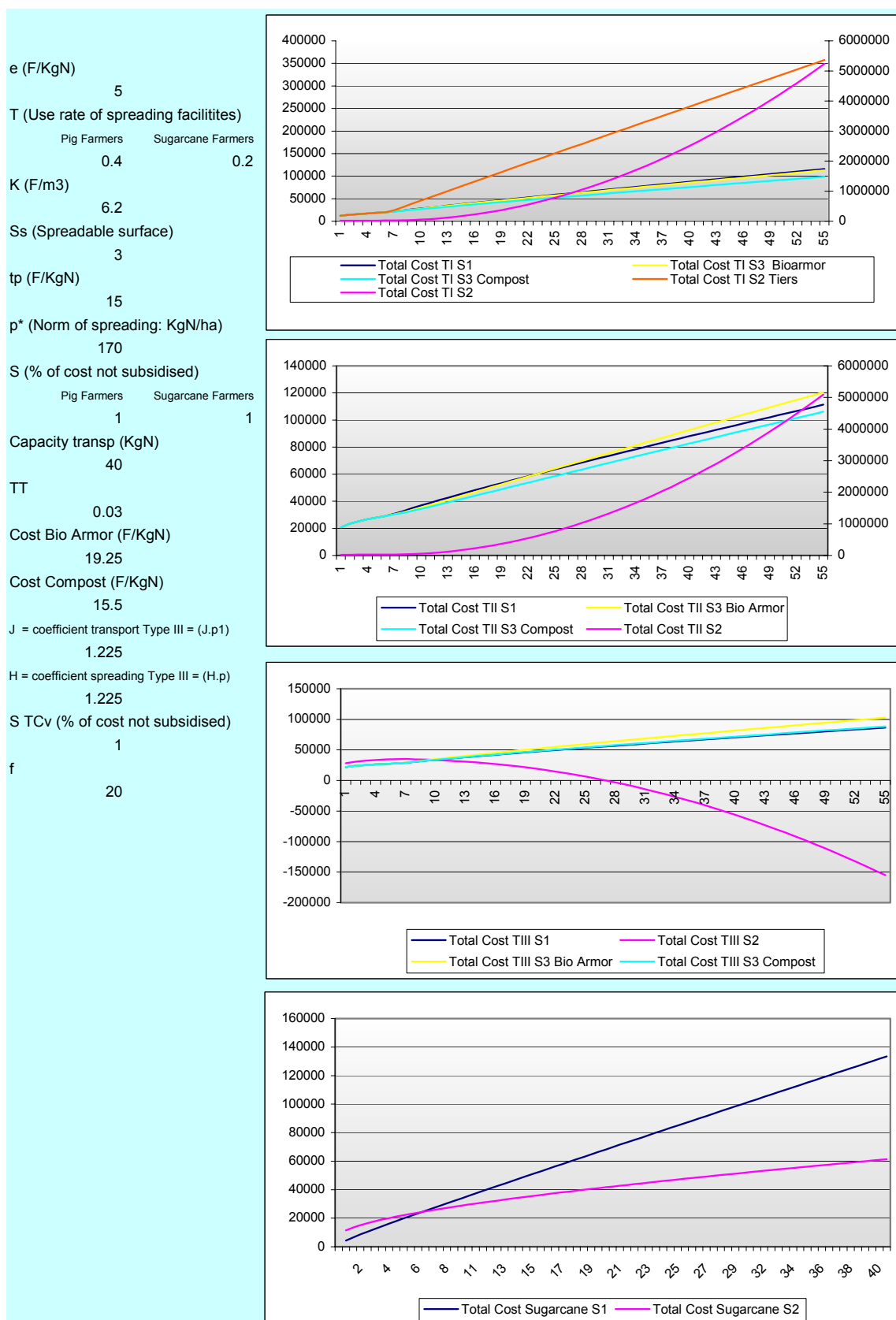
10



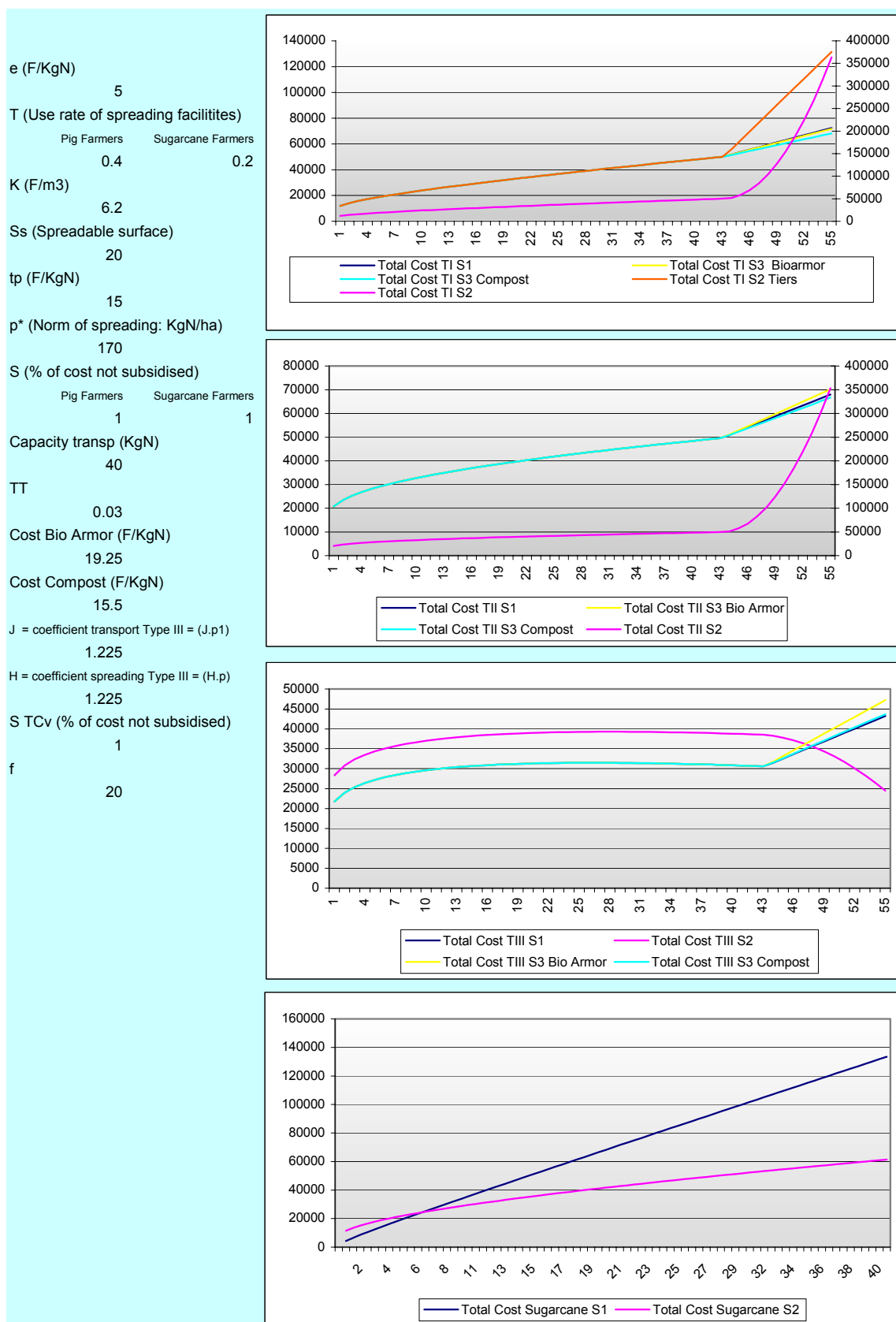
Scénario 2



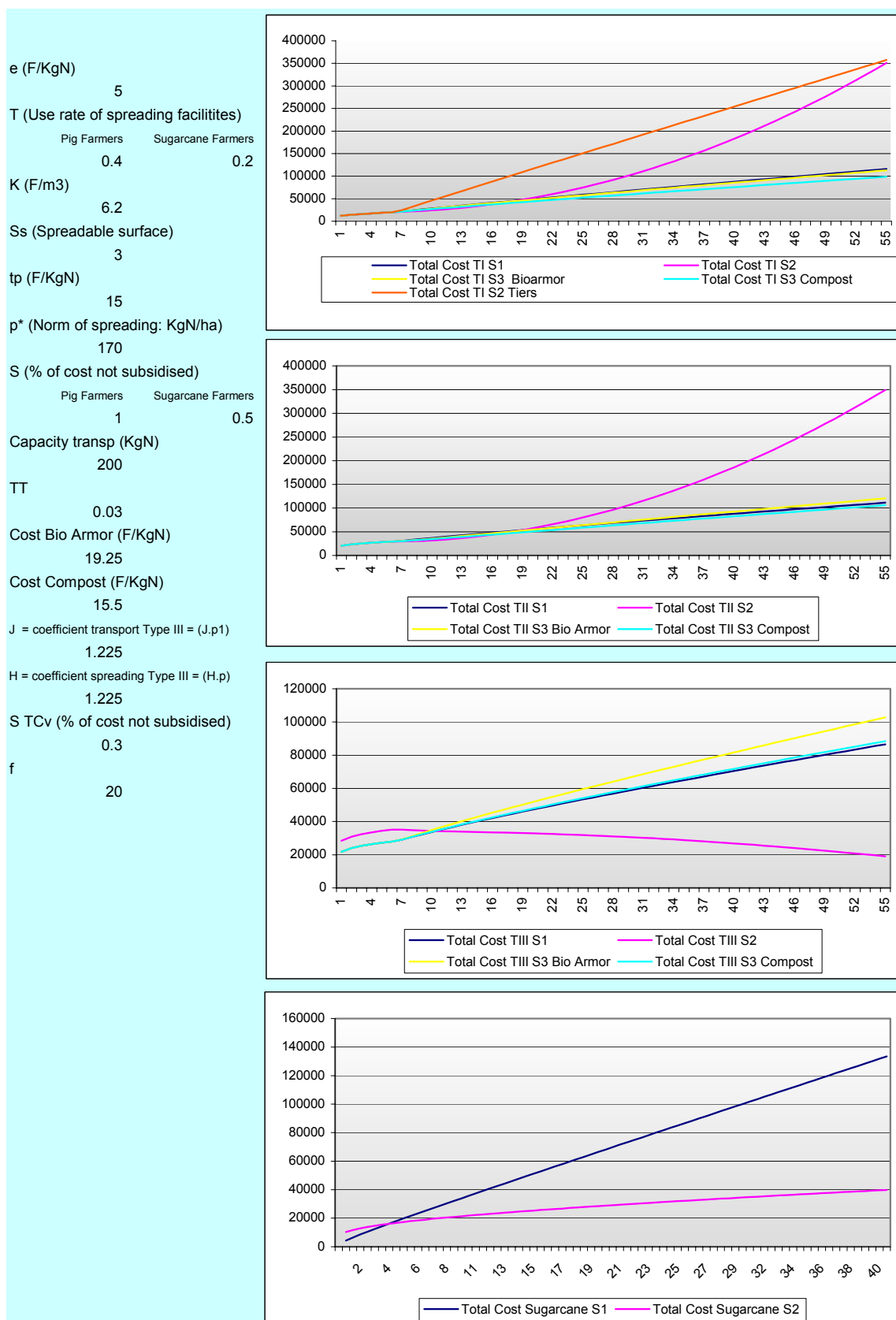
Scénario 3



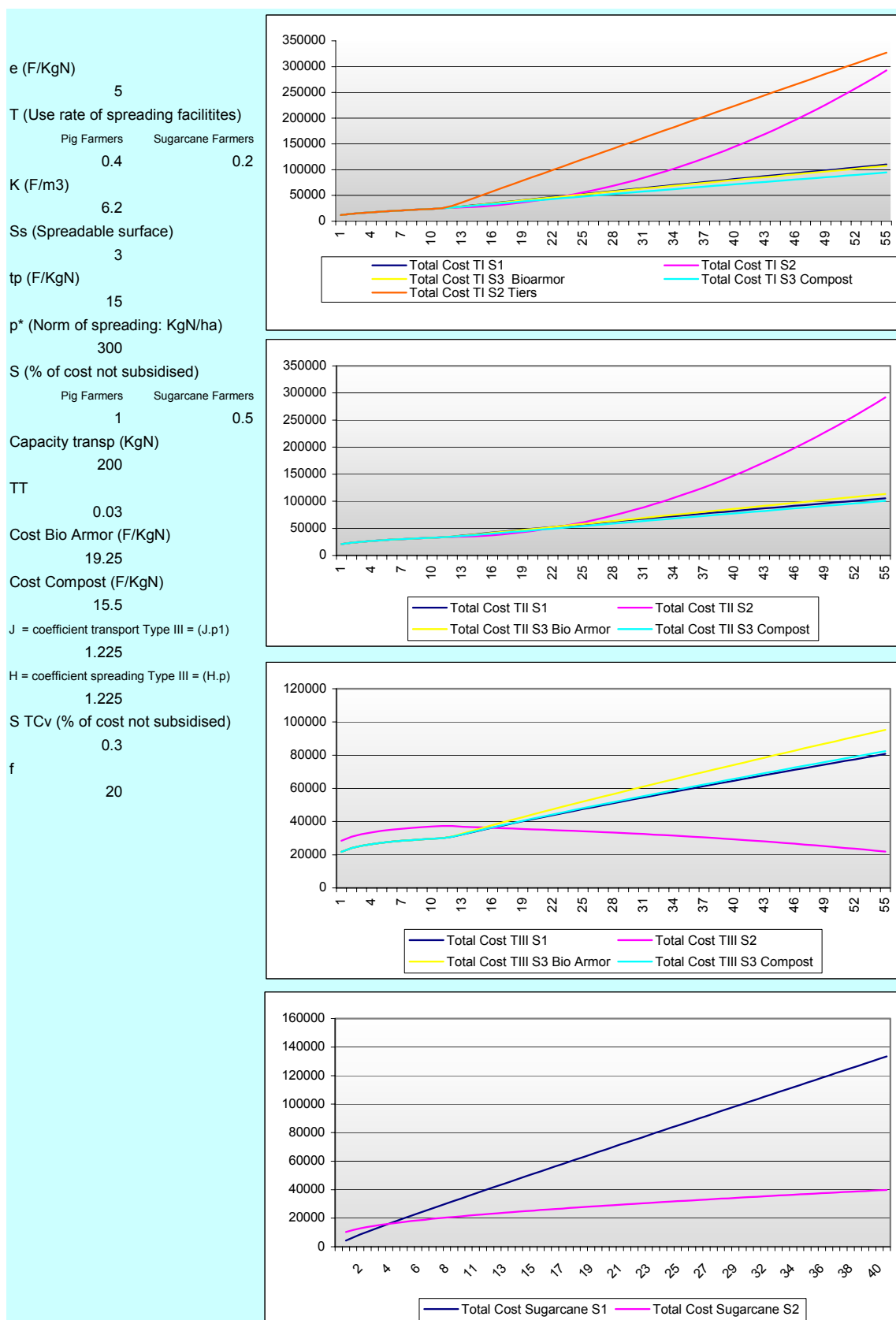
Scénario 4



Scénario 5



Scénario 6



La caractéristique du scénario de base (scénario 1) est l'absence de redevance pollution pour les excédents. Cela détermine une préférence claire pour l'épandage de tout le lisier produit dans les parcelles de Grand Ilet pour tous les types d'éleveurs. Le coût annuel de cette pratique, étant donnés les paramètres indiqués, ne dépasse jamais les 50 000 F/an, même pour les éleveurs de taille plus importante.

Les éleveurs de type III auraient intérêt à transporter leur lisier, ainsi que celui des éleveurs de type I vers la zone côtière. Toutefois, vu le coût exorbitant de cette stratégie, aucun éleveur de type I la choisirait, et la courbe de coût pour l'éleveur de type III égalise ainsi celle du type II.

Pour les producteurs de canne, l'indifférence entre l'épandage de lisier et l'épandage d'engrais minéral se situe autour d'une taille de 24 ha. Au-delà de cette taille, c'est le lisier qui est préférable.

Dans le scénario 2, la redevance pollution est portée à 25 F/kg N. Il s'agit d'une valeur très élevée, suffisante à rendre la stratégie 3 (gestion collective des effluents par la technologie Bio-Armor) intéressante sur le plan économique pour les éleveurs de Grand Ilet. Le compostage collectif, dans ce scénario, n'est pas une solution intéressante.

Nous avons introduit dans le scénario 3, une subvention pour le traitement collectif des effluents. Cette subvention prend la forme d'un prix majoré pour le compost revendu après traitement des effluents par la station. Des 50 F/t des scénarios précédents on passe à 400 F/t. La solution représentée par la station collective de compostage devient alors intéressante pour les éleveurs de type I (pour lesquels le tarif e a aussi été augmenté à 5 F/kg N) et pour ceux de type II (seulement le compostage), même en présence d'une redevance pollution réduite par rapport à celle du scénario précédent (15 F/kg N). Pour les éleveurs de type III, les coûts des stratégies 1 et 3 (compostage) sont pratiquement équivalents, alors que le traitement collectif par la technologie Bio-Armor se révèle très coûteux. S'ils avaient des « clients » (éleveurs de type I), ils trouveraient bien évidemment plus intéressant de transporter leur lisier vers la zone côtière.

Le seuil d'indifférence entre les stratégies 1 et 2 pour les producteurs de canne, se situe dans ce scénario plus proche à l'origine des axes car le prix du fertilisant minéral a été doublé.

Dans le scénario 4, on a simulé l'effet d'une disponibilité beaucoup plus importante (20 ha) de surface épandable pour chaque éleveur à Grand Ilet. Cela pourrait se vérifier si un grand nombre d'éleveurs optent pour la stratégie 2 ou 3. Des parcelles à une distance raisonnable des lieux de production porcine pourraient alors se « libérer » pour l'épandage des effluents en excès. Cela aurait l'effet de pousser les éleveurs jusqu'à une taille de 43 TNE vers la stratégie 1 car, en absence de redevance, cette solution reste la plus économique. Pour des élevages de taille plus grande, les types I et II choisiraient, sous les conditions données, un traitement collectif (station de compostage), alors que les types III, pour l'effet de e, continueraient à épandre dans la zone de production.

Le scénario 5 met en évidence les facteurs critiques concernant le transport du lisier vers la zone côtière. On a simulé, ici, une augmentation de la capacité de transport de 40 à 200 kg N par voyage (25 t de lisier). En même temps, nous avons introduit une subvention couvrant 70 % des coûts variables de transport. Ces conditions rendraient intéressante la stratégie 2 pour les éleveurs de type I et II de taille réduite (jusqu'à 20 TNE) et pour les type III de taille plus importante. Mais à quel coût social (subvention publique)? En outre, les coûts plus importants de l'achat d'un matériel de capacité supérieure ne sont pas pris en compte. Mais ce sont surtout les infrastructures qui empêchent cette solution : un camion avec une capacité de 25 t ne peut pas transiter sur la route qui relie Grand Ilet à la zone côtière.

Une subvention de 50 % des fosses pour accueillir le lisier rendrait encore plus attrayante cette solution pour les producteurs de canne. Toutefois, nous remarquons que l'effet des subventions sur les fosses est moins important qu'une variation du prix des fertilisants minéraux.

Finalement, le scénario 6 montre l'effet d'une norme d'épandage moins stricte (300 kg N/ha contre 170). Celle-ci aurait un effet similaire à l'effet mis en évidence dans le scénario 4 car, du point de vue des choix stratégiques des éleveurs, augmenter la quantité de lisier épandable par hectare équivaut à augmenter la surface épandable.

5 Utilisations ultérieures des données : modélisation multi-agents (Echos)

Bien que les simulations possibles avec le modèle présenté dans le chapitre 4 soient d'un certain intérêt, la finalité de l'analyse des données de base et de la construction des fonctions de coût réalisées selon différentes stratégies est d'aboutir à un modèle dynamique, susceptible, avec des paramètres fixés, de traduire l'évolution dans le temps des coûts, des stratégies des acteurs et de la concentration d'azote dans le sol.

Dans cet objectif, on a construit le modèle multi-agents « Echos » (Farolfi *et al.*, 2002). Le choix d'un modèle multi-agents a été conditionné par la volonté de combiner plusieurs exigences de représentation de la réalité. En particulier, nous avons cherché à combiner des dynamiques, à la fois, économiques et écologiques dans une modélisation spatialisée et dans laquelle les agents étudiés peuvent avoir des stratégies différentes et les changer au cours d'une simulation. En d'autres termes, la modélisation multi-agents permet d'illustrer certains phénomènes peu apparents dans une modélisation économique standard.

Le travail de modélisation sur « Echos » est en cours et il ne peut être question dans cette synthèse d'approfondir les résultats des analyses possibles avec ce modèle. Pour une illustration détaillée d'« Echos » voir Farolfi *et al.*, 2002.

Nous donnons, par la suite à titre d'exemple, les résultats graphiques d'une simulation réalisée sur 10 ans avec tous les éleveurs (56) initialement en stratégie 1. La redevance est calculée en F/kg N et elle est progressive au cours de la période simulée. Les deux premières années, il n'y a pas de redevance ; à partir de la troisième année, elle correspond à 5 F/kg N et tous les deux ans, elle est augmentée de 5 F/kg N.

Les autres paramètres déjà fournis au chapitre 4 ont les valeurs suivantes :

- $p^* = 170$ (kg N/ha) ;
- $S_{TC_v} = 0,3$ (70% du coût variable de transport est subventionné) ;
- $S = 1$ pour les éleveurs comme pour les producteurs de canne ;
- $T = 0,2$ pour les éleveurs comme pour les producteurs de canne ;
- $K = 1,55$ (F/kg N) ;
- $e = 1,675$ (F/kg N) ;
- $TT = 0,03$;
- coût pour la station de compostage = 23,75 (F/kg N) (correspondant à un prix de vente du compost de $300F/T$) ;
- $f = 10$ (F/kg N).

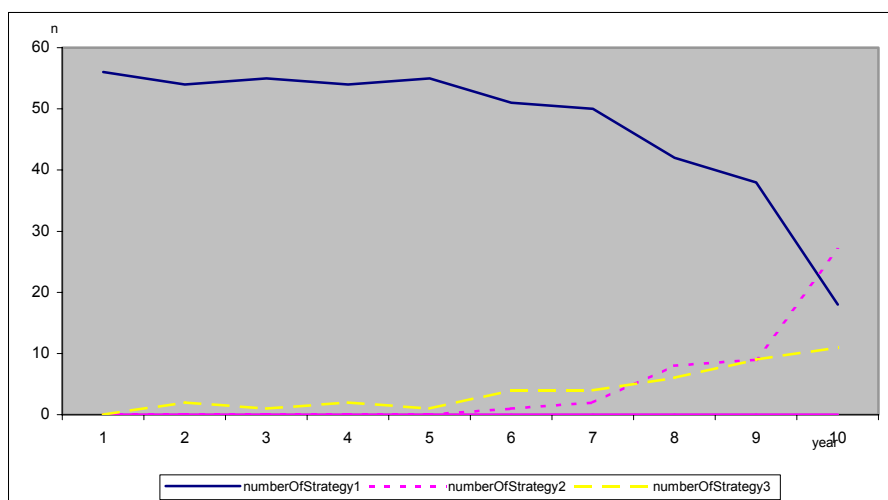


Figure 4. Evolution de la répartition sur 10 ans des éleveurs selon les stratégies.

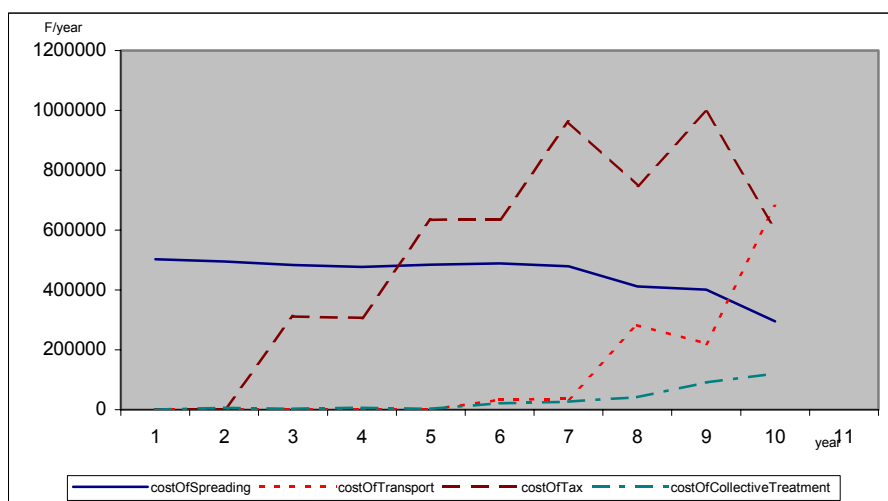


Figure 5. Dynamique des coûts de gestion des effluents pour les éleveurs de Grand Ilet.

L'effet incitatif des redevances sur les excédents azotés (+ 5 F/kg N tous les deux ans à partir de la troisième année) est évident sur les choix des éleveurs à partir de la cinquième année. C'est le traitement collectif dans une station de compostage d'abord et ensuite la stratégie du transport des effluents vers la zone côtière (fortement subventionnée dans ce scénario) qui se substituent à l'épandage de la matière organique à Grand Ilet. La figure 5 montre la dynamique des coûts annuels de gestion des effluents pour tous les éleveurs étudiés. Cette dynamique suit l'évolution des stratégies choisies par les éleveurs.

La dynamique de l'azote dans le sol est représentée dans la figure suivante (fig. 6). A partir de la sixième année, le choix d'une gestion alternative des effluents d'élevage de Grand Ilet (stratégies 2 et 3) contribue à réduire le potentiel polluant dû à ces derniers. La pollution augmente toujours, mais avec un taux inférieur par rapport aux cinq premières années.

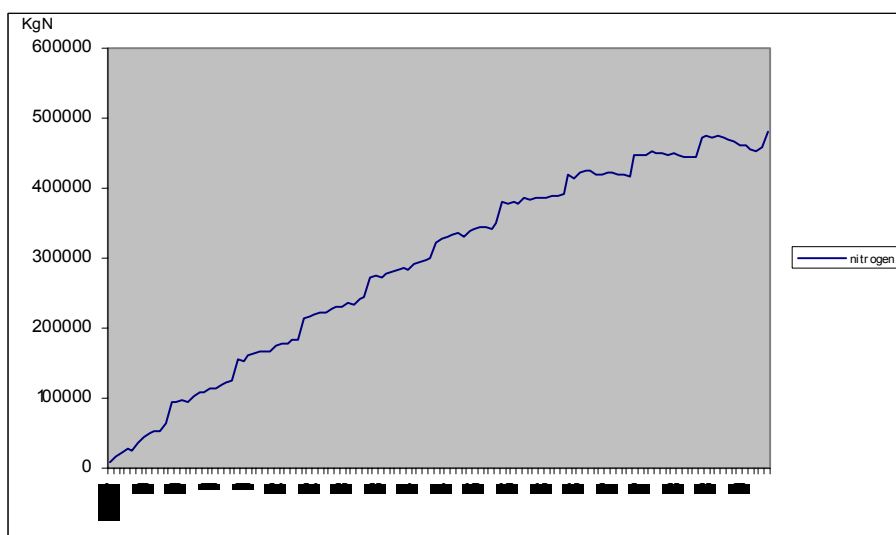


Figure 6. Dynamique de l'azote dans le sol.

Les trois graphiques suivants illustrent l'évolution des choix de stratégie des éleveurs de type I, II et III.

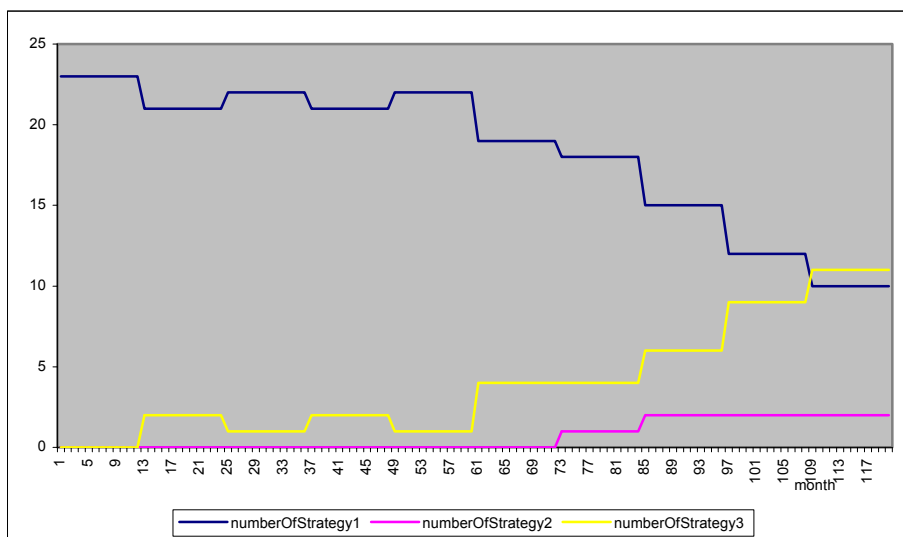


Figure 7. Evolution du choix de la stratégie de gestion des effluents pour les éleveurs de type I.

Pour les éleveurs de type I, la stratégie 1 reste la plus intéressante sur presque toute la simulation, même si, à partir de la deuxième année, l'effet des taxes (à 10 F/kg N dès l'année n. 5) induit un choix progressivement orienté vers un traitement collectif par compostage. Le choix du transport du lisier vers la zone côtière apparaît dès l'année 7. Toutefois peu d'éleveurs de type I choisissent cette solution.

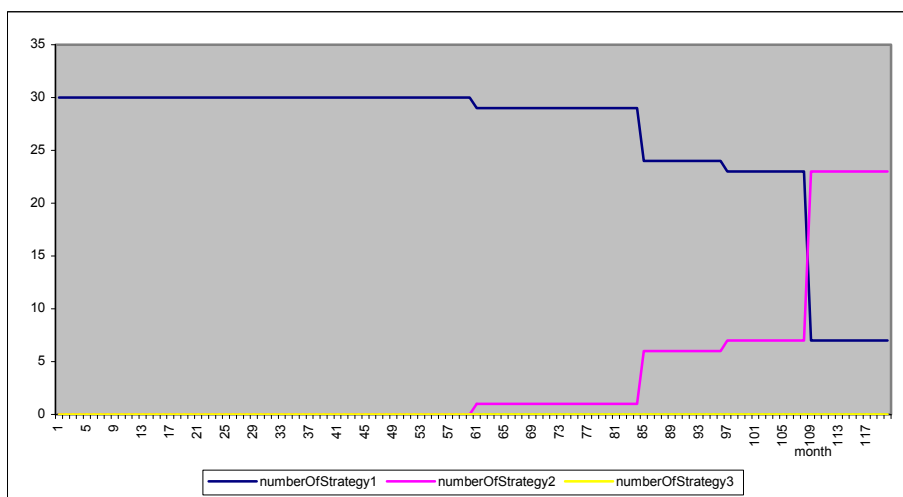


Figure 8. Evolution du choix de la stratégie de gestion des effluents pour les éleveurs de type II.

Pour les éleveurs de type II, c'est au contraire la stratégie 2 qui prend progressivement le pas sur la stratégie 1. Puisque dans ce scénario le transport est fortement subventionné, les éleveurs de type II optent pour cette solution plutôt que pour un traitement collectif. Ce dernier n'est donc choisi que par les éleveurs de type I (les éleveurs de type III ayant un comportement proche de celui des éleveurs de type II). L'effet combiné des redevances pollution et des subventions au transport ne semble donc pas rendre économiquement viable la mise en œuvre d'une station de traitement collectif. D'autres simulations avec Echos ont montré l'efficacité bien supérieure des redevances seules ou couplées aux subventions à l'investissement afin de pousser la grande majorité des éleveurs vers une solution de traitement collectif.

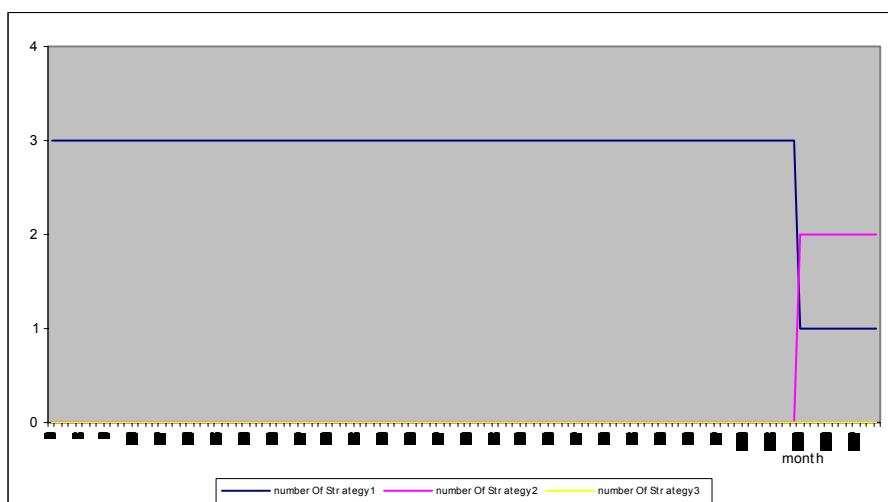


Figure 9. Evolution du choix de la stratégie de gestion des effluents pour les éleveurs de type III.

Les éleveurs de type III, peu nombreux à grand Ilet, choisissent de rester dans une stratégie d'épandage sur les lieux de production jusqu'à l'année 9. En effet, les recettes provenant des tarifs payés par les éleveurs de type I rendent cette solution moins coûteuse que le traitement collectif. Quant au transport vers la zone côtière, deux éleveurs optent pour cette solution la dernière année de la simulation, à cause de l'incitation économique des taxes.

Finalement, le graphique suivant montre la dynamique des coûts relatifs à la fertilisation azotée pour les producteurs de canne de la zone côtière.

Jusqu'à l'année 5, la structure des coûts pour les producteurs de canne ne change pas : ils ne reçoivent pas d'effluents provenant de Grand Ilet, et leur coût principal est représenté par l'achat du fertilisant azoté. A partir de l'année 6, ils acceptent progressivement des effluents jusqu'à satisfaire complètement leur besoin à l'année 10.

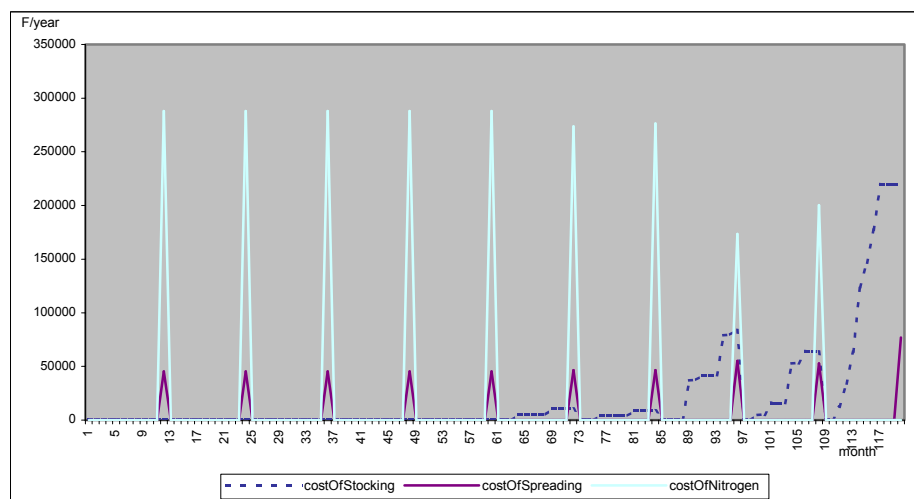


Figure 10. Coûts de fertilisation azotée des producteurs de canne de la zone côtière.

Leur structure de coûts de fertilisation change au fur et à mesure qu'ils décident de recevoir les effluents proposés par les éleveurs. Le coût pour l'achat du fertilisant minéral²⁰ se réduit progressivement, jusqu'à disparaître, alors que les coûts d'épandage et, surtout, les coûts pour la construction de fosses de stockage augmentent, jusqu'à un maximum à l'année 10.

20. Les coûts pour l'achat des fertilisants contenant K et P ne sont pas pris en compte ici. En outre, il est important de souligner que les coûts pour l'épandage de ces derniers devraient être rajoutés au coût d'épandage des effluents, car ils ne peuvent pas être épandus ensemble.

Conclusion

Ce travail de synthèse concernant les coûts réels de gestion des effluents d'élevage à Grand Ilet (pratiques d'épandage effectuées à présent de manière individuelle ou en petits groupements d'éleveurs, compostage en petits groupements d'éleveurs) et les coûts hypothétiques d'une installation de traitement collective, capable d'absorber les excédents de tous les éleveurs de la zone, nous a semblé nécessaire afin de combler un vide d'information.

L'effort de recherche, mené depuis plusieurs années par l'équipe GDOR du CIRAD, a pour objectif la modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité pour la gestion des effluents d'élevage à la Réunion. Il nécessitait d'être intégré à un travail de recherche socio-économique de ce type.

Les modèles réalisés au sein de l'équipe GDOR sont des outils d'aide à la décision et d'accompagnement à la négociation des acteurs locaux. L'aspect économique des coûts de gestion de la matière organique en excès constitue un facteur crucial de décision individuelle et collective.

Des études économiques avaient déjà été menées au sein de l'équipe et leurs résultats avaient conduit à l'élaboration du modèle Macsizut (Farinet *et al.*, 2002) et aux données et informations (limitées pour ce qui concerne les coûts) contenues dans la base de données BDEXP et dans plusieurs rapports (cf. Renault-Paillat, 1999 et Aubry *et al.*, 2001). Des données relatives aux coûts de gestion collective étaient également disponibles suite aux études effectuées par des bureaux d'études spécialisés (cf. Cyathea, 1999 a et b). Toutefois, l'exigence d'un texte de référence prenant en compte les différentes sources et les intégrant était forte. De plus, notamment pour ce qui est de la gestion individuelle à la ferme, nous avons besoin de mieux saisir le coût relatif à chaque opération (nettoyage, stockage, épandage) pour les différentes typologies d'éleveurs que nous avons observés sur le terrain (« type I » - sans matériel, « type II » - avec matériel, « type III » - avec matériel et fournissant un service aux « type I »). Le travail d'enquête qui s'est en suivi a permis de préciser l'origine et les composantes de ces coûts.

Les coûts relatifs à l'épandage des effluents d'élevage ont aussi été calculés pour les producteurs de canne de la zone côtière et comparés avec les coûts actuels d'utilisation des fertilisants minéraux.

La connaissance de ces coûts et leur homogénéisation, qui a consisté à les rapporter aux mêmes unités de taille (TNE pour les éleveurs et ha pour les producteurs de canne) et de quantité (kg N), ont permis leur traitement et la réalisation du modèle de simulation illustrant l'évolution du coût pour chaque stratégie de gestion des effluents et l'effet des mesures de politique environnementale (redevance, subvention, norme) sur les choix possibles des producteurs.

Des modélisations dynamiques et prenant en compte l'espace ainsi que la possibilité pour les agents de changer leur stratégie au fil des simulations (cf. Echos) sont en phase de développement au sein de l'équipe GDOR. Les données économiques et les informations sur les coûts transcrites dans ce document constituent une base de connaissance fondamentale pour rendre opérationnels des outils d'aide à la négociation et à la décision comme Echos.

Les résultats de ce travail de collecte, d'ordonnancement et d'élaboration de données et d'informations sur les coûts de gestion des effluents ne sont, bien sûr, pas à considérer sans critique, particulièrement en ce qui concerne les aspects suivants.

- L'enquête menée à Grand Ilet n'a pu couvrir qu'une partie, bien que représentative, des éleveurs. Les régressions pour l'obtention des courbes de coûts à partir des données de base ont montré des coefficients de corrélation parfois faibles.
- Des hypothèses importantes ont dû être formulées soit par manque d'information précise (coût variable d'épandage des engrais minéraux), soit pour des exigences opérationnelles (coût de la main-d'œuvre directement apportée par les éleveurs).
- Les coûts que nous avons finalement attribués aux stratégies illustrées dans les simulations du chapitre 3 sont probablement surestimés par rapport à la réalité observée dans la mesure où, entre autres, la main-d'œuvre n'est pas rémunérée et les stockages ne sont pas réalisés aux normes comme nous en avons fait l'hypothèse.

Ce premier effort de recherche demandera certainement des actions complémentaires de vérification, de mise à jour et d'amélioration des chiffres obtenus.

Cependant, ce travail a le mérite d'attribuer un coût aux opérations effectivement réalisées pour la gestion des effluents d'élevage à la Réunion et de construire des fonctions par stratégie de gestion qui intègrent les facteurs spatiaux (distance entre parcelles pour l'épandage et entre Grand Ilet et la zone côtière pour le transport) et les mesures environnementales.

Seule la connaissance de ces fonctions de coût permettrait de formuler des hypothèses sur le comportement des acteurs étudiés si les mesures de politique environnementale ou les facteurs techniques et territoriaux changent.

Références bibliographiques

ASSOCIATION POUR LA PROMOTION EN MILIEU RURAL (APR), 1999. Etude de faisabilité d'une station de traitement des effluents d'élevage. Diagnostic et scénarii. Secteur de la Ravine des Cafres à la rivière des remparts. CUMA des éleveurs de Petite Ile. 31 p. + annexes.

AUBRY C., PAILLAT J.M., GUERRIN F., 2001. Modélisation conceptuelle de la gestion des effluents d'élevage à la Réunion. CIRAD-TERA. 58 p.

CAISSO M., 2001. Analyse des coûts de gestion des effluents d'élevage à la Réunion - Le cas de la commune de Grand Ilet. Rapport de Stage DESS Economie et Environnement Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II, 55 p.

CHAMBRE D'AGRICULTURE COTES D'ARMOR, 1997. Traitement du lisier de porc, combien ça coûte ? Et une décision de gestion, articles, Dossier les trois antennes n°50.

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA REUNION, 1989. Guide de l'acheteur de machines agricoles, 47 p.

COPETTE N., 2001. Mesures juridiques concernant la gestion des effluents d'élevage à la Réunion : des contraintes au comportement économique des producteurs ? rapport de DESS "sciences et gestion de l'environnement tropical", 116 p.

CUMA, 1985. Prix de revient des matériels utilisés par les CUMA (Poitou Charente).

CYATHEA (Bureau d'études), 1999 a. Etude préalable à la mise en place d'une station de traitement collectif des effluents d'élevage porcins à Grand Ilet. Groupement des éleveurs de Grand Ilet., 75 p.

CYATHEA (Bureau d'études), 1999 b. Mise en place d'une station de traitement collectif des effluents porcins à Grand Ilet, synthèse de la consultation des entreprises. Groupement des éleveurs de Grand Ilet. , 60 p.

FARINET J.-L., HURVOIS Y., PAILLAT J.-M., 2002. MACSIZUT : un modèle d'aide au choix de techniques de traitement des effluents d'élevage. *In* F. Guerrin, J.-M. Paillat (éditeurs scientifiques), Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité – Cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. Restitution des travaux de l'ATP 99/60. Actes du séminaire des 19-20 juin 2002, Montpellier, France. Cirad, Montpellier France, Colloques, Cd-Rom

FAROLFI S., LE PAGE C., TIDBALL M., BOMMEL P., 2002. Management of livestock effluents in Reunion: use of a multi-agent system to analyse the economic behaviour of players. Proc. International Conference Agent Based Simulation III, Passau, Allemagne., 7p.

FRCA (Fédération Réunionnaise des coopératives agricoles), 2001. Le PMPOA à la Réunion, rapport de l'exercice nov.1999-oct.2000. 27 p.

HELIAS A., 2000. Modélisation de l'approvisionnement d'une structure collective de traitement d'effluent d'élevage, cas des effluents porcins de la localité de Grand Ilet. Mémoire de DAA spécialisation Agrotic. AGRO Montpellier, INRA, CIRAD. 60 p.+ annexes.

HURVOIS Y., 1997 . Gestion des effluents d'élevage à la Réunion, rapport de mission du 17 au 28/07/96. CIRAD. 20 p.+ annexes.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, SOUS-GROUPE MATERIEL D'EPANDAGE DU GROUPE ELEVAGE, 1997. Bien choisir et mieux utiliser son matériel d'épandage de lisier ou de fumier.

MISSION DE VALORISATION AGRICOLE DES DECHETS (MVAD), 1996. Gisement des déchets organiques issus de l'agriculture et du milieu urbain, 110 p.

MISSION DE VALORISATION AGRICOLE DES DECHETS (MVAD), 1998a. L'épandage et le compostage des déchets organiques à la Réunion, 68 p.

MISSION DE VALORISATION AGRICOLE DES DECHETS (MVAD), 1998b. Comparaison du lisier, du compost d'ordures ménagères et de l'engrais en plein champ, juin.

NADEAU I., 2001. Les sept commandements de la nouvelle loi sur l'eau. Environnement Magazine, n° 1594, p. 28-29.

PAILLAT J.M., 1997. Gestion des effluents d'élevage à la Réunion : transformer la nuisance en fertilité, Programme de recherche CORDET 94 DA 51, Rapport final, 62 p.

POUX X., BARBUT L., 1997. Etude sur l'insertion optimale des procédés de traitement dans les cantons en excédent structurel ; application des sciences de l'action. Agence de l'eau Loire-Bretagne, Ministère de l'environnement.

RAKOTOMALALA L., 1999. Etude de la gestion de la matière organique en productions végétales dans le sud de l'île de la Réunion, Analyse des pratiques et constitution d'un modèle d'action. Mémoire de stage pour le DESS gestion des systèmes agro-pastoraux en zones tropicales, Université Paris XII, CIRAD. 53 p.+ annexes.

RENAULT D., PAILLAT J.-M., 1999. Analyse de la production et de l'utilisation des effluents porcins à Grand-Ilet, localité de l'île de la Réunion (Cirque de Salazie). Rapport Cirad-Tera, la Réunion, n°16/99, 50 p. + annexes.

REYNAUD S., 1995. Diagnostic des pratiques agricoles pour une meilleure compréhension des transferts d'effluents d'élevage. Mémoire DAA Ina-PG, Paris, 59 p.+ annexes.

THIERY M., 1996. Mise au point d'une unité de compostage de déchets d'abattoir de volailles en zone de montagne à la Réunion. Mémoire pour le diplôme d'ingénieur ITIA, CNAM-INA PG, Chambre d'agriculture de la Réunion. 53 p.+ annexes.

TIRATAY M., 2001. Evaluation des coûts de gestion collective des effluents d'élevage à la Réunion - Le cas de Grand Ilet. Rapport de stage CIRAD-URCOOPA (Canavi-Botanica), 90 p.

Sites Internet

Site du Groupe de Recherche en Economie et Politique Rurale.

www.eru.ulaval.ca/grepa/info.htm

Site de la coordination national contre les élevages industriels.

<http://perso.wanadoo.fr/coordination.nationale>

Site sur le procédé de traitement du lisier de la société agrifiltre.

www.agrifiltre.com

Site sur les produits additif pour les odeurs et la liquéfaction du lisier.

www.gmfo.free.fr

Site d'achat de matériel agricole en ligne.

www.equipelevage.com

Site Canadien sur les procédés existants contre la pollution par les lisiers.

www.purin-pur.qc.ca

Présentation de bâches plastiques pour faire des fosses à lisier.

www.relais-textile.com

Prix de produits de traitements du lisier

www.agri_ltd.com

Procédé de réactivation biologique des fosses à lisier.

<http://hexatech.free.fr>

Site de la coopérative des producteurs de porcs de la Réunion

www.porcspays.com

Site de l'Action Thématique Programmée du CIRAD

http://atprun99.cirad.fr:8080/CIRAD_ATPRun9960/ATPRun99.htm